



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02K 21/14 (2024.01); H02K 1/278 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023127616, 27.10.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.10.2023

Дата регистрации:
03.07.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.10.2023

(45) Опубликовано: 03.07.2024 Бюл. № 19

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

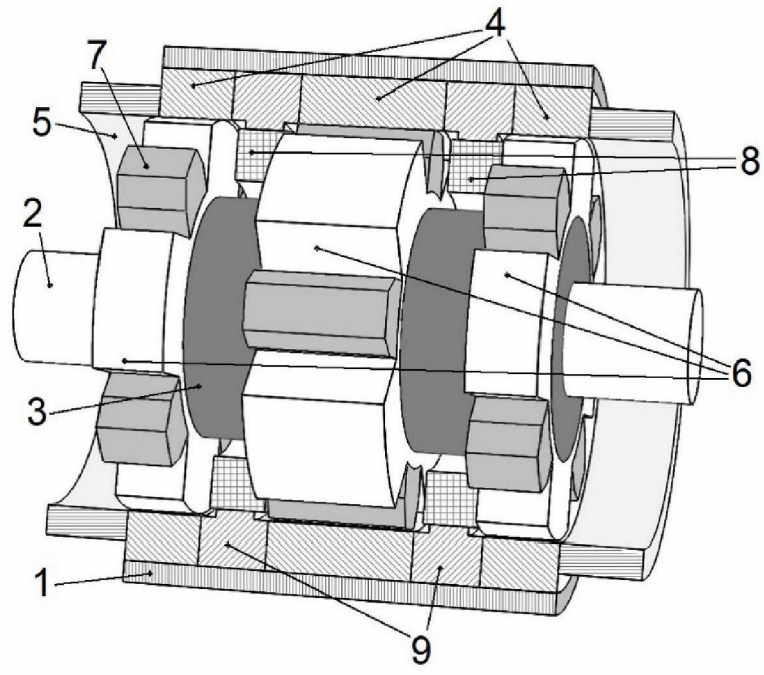
о поиске: RU 2696273 C1, 01.08.2019. RU
2437201 C1, 20.12.2011. RU 2774117 C1,
15.06.2022. RU 2392724 C1, 20.06.2010. SU
1815751 A1, 15.05.1993. EP 1995855 B1, 14.05.2014.

(54) ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники. Технический результат – повышение надежности электрической машины, увеличение ее КПД, удельных момента и мощности. Электрическая машина содержит корпус статора и втулку ротора, сделанные из нешихтованного ферромагнитного материала, вал, два или более шихтованных пакетов статора, установленных в корпус с осевыми промежутками, в пазы которых установлена многофазная р-полюсная обмотка, шихтованные пакеты ротора с р/2 зубцами, образующие пары с пакетами статора. На статоре в осевых промежутках между парами пакетов статора и ротора закреплены одна или несколько катушек

возбуждения. В пазы пакетов ротора установлены магниты с коэрцитивной силой не менее 3 кЭ. Особенностью изобретения является исполнение постоянных магнитов, при котором магнит имеет внешний участок, уходящий в направлении к дну паза ротора, радиальный размер которого составляет не менее 1/4 радиального размера магнита, а углы, образованные касательными плоскостями к противоположным боковым поверхностям, составляют не менее 20°. Расстояние от поверхности магнита, обращенной к статору, до внутренней поверхности пакета статора не более десятой части радиального размера магнита. 2 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

H02K 21/14 (2024.01); H02K 1/278 (2024.01)

(21)(22) Application: 2023127616, 27.10.2023

(24) Effective date for property rights:
27.10.2023Registration date:
03.07.2024

Priority:

(22) Date of filing: 27.10.2023

(45) Date of publication: 03.07.2024 Bull. № 19

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: electrical machine comprises a stator housing and a rotor sleeve made from non-laminated ferromagnetic material, a shaft, two or more laminated stator packages installed in the housing with axial gaps, in the slots of which there is a multiphase p-pole winding, laminated rotor packages with p/2 teeth, which form pairs with stator packages. One or more excitation coils are fixed on the stator in axial gaps between pairs of stator and rotor packages. Magnets with coercive force of at least 3 kOe are installed in slots of rotor packages. A feature of the invention is the design of

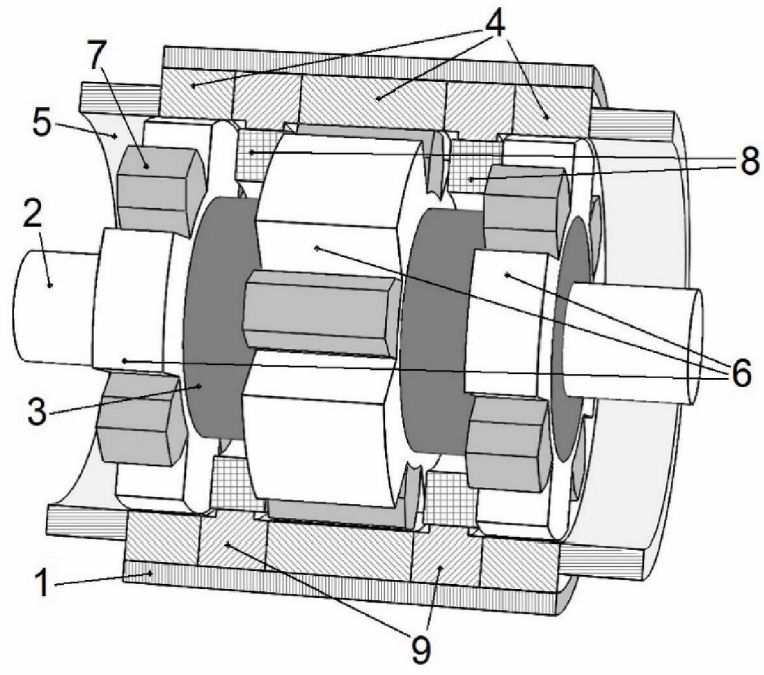
the permanent magnets, in which the magnet has an outer section, which widens towards the bottom of the rotor slot, radial size of which is not less than 1/4 of the radial size of the magnet, and the angles formed by the tangent planes to the opposite side surfaces are not less than 20°. Distance from the surface of the magnet facing the stator to the inner surface of the stator package is not more than a tenth of the radial size of the magnet.

EFFECT: improving reliability of electric machine, increasing its efficiency, specific moment and power.

3 cl, 3 dwg

RU 2 822 213 C1

RU 2 822 213 C1



Фиг. 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 р 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. опубликованной 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 постоянные 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,
- к дну каждого паза примыкает магнит полностью,
- боковые стороны магнитов не примыкают к боковым сторонам зубцов ротора.

Благодаря этому оказываются вне сильных размагничивающих полей обмоток. Также для вывода постоянных магнитов из сильных размагничивающих полей обмоток в этой машине между плоскими боковыми поверхностями постоянных магнитов, установленных в пазы ротора, и поверхностями этих магнитов, обращенными к внутренней поверхности статора, могут быть выполнены фаски с целью дальнейшего вывода магнитов из наиболее сильных магнитных обмоток.

В результате повышается надежность электрической машины посредством уменьшения размагничивающей силы, действующей на магниты, предотвращение размагничивания магнитов, увеличение токовой нагрузки, а также увеличение КПД и удельной мощности без увеличения частоты питающего напряжения и стоимости инвертора вследствие избегания расположения магнитов в наиболее сильных размагничивающих полей обмоток.

Для уменьшения размагничивающего влияния поля обмотки возбуждения на магниты пазы ротора делают глубокими, а магниты делают большой радиальной ширины, что

увеличивает массу магнитов и уменьшает размеры 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. 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.

Вместе с тем напряженность магнитного поля формируется не только обмотками, но и самим магнитом. Однако в данном решении это поле не формируется 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 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.

Сущность изобретения поясняется эскизами, на которых изображено:

- фиг. 1 - трехмерный вид электрической машины, который показан с вырезом 1/2 части статора, а ротор показан неразрезанным;

- фиг. 2 - часть поперечного сечения машины, имеющей пакеты статора и ротора с установленными в пазах ротора постоянными магнитами, соответствующая одному зубцовому делению ротора;

- фиг. 3 поясняет алгоритм построения сечения магнита.

Как видно из фиг. 1 статор машины содержит корпус 1 из сплошного ферромагнитного материала, например, из нелегированной отожжённой 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 $360^\circ/p = 45^\circ$, 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. Постоянные 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 показывает часть поперечного сечения машины, имеющей пакеты статора и ротора с установленными на роторе постоянными магнитами, соответствующую одному зубцовому делению ротора. Фиг. 2 служит только для пояснения геометрического смысла различных отрезков и дуг с буквенным обозначением, упоминаемых далее, и показанные на нём геометрические соотношения между размерами могут не соответствовать соотношениям, описанным далее.

Поверхность магнита имеет участок, примыкающий к дну паза пакета ротора 13.

Постоянный магнит 7 имеет внешний участок 12, уширяющийся в направлении к

дну паза ротора, радиальный размер которого составляет не менее $1/4$ радиального размера магнита, а углы, образованные касательными плоскостями к противоположным боковым поверхностям 10, на менее 20° ,

- расстояние от поверхности магнита 11, обращённой к статору, до внутренней поверхности пакета статора 14 не более десятой части радиального размера магнита.

Фиг. 3 поясняет пример построения сечения магнита.

ММ' - поверхность магнита, примыкающая к дну паза пакета ротора.

DCC'D' - внешний участок, уширяющийся в направлении к дну паза ротора.

Поверхность DCC'D', обращённая к статору, представлена кривой CC'. Боковые поверхности представлены кривыми DC и C'D'.

Точки К и К' выбраны на кривых DC и C'D' на одинаковом расстоянии от центра вращения О. Поскольку DCC'D' - уширяющийся участок, длина отрезка КК' увеличивается при продвижении его в этом направлении.

Максимальный отрезок, отсекаемый от луча, проведённого через ось вращения ротора О, кривыми DD' и CC' есть радиальный размер внешнего участка h.

Максимальный отрезок, отсекаемый от луча, проведённого через ось вращения ротора О, кривыми MM' и CC' есть радиальный размер магнита участка Н. $h \geq H/4$.

Внутренней поверхностью пакета статора является цилиндр, вписанный в пакет статора. В проекции на Фиг. 2. он представляется окружностью.

Максимальный отрезок, отсекаемый от луча, проведённого через ось вращения ротора О, кривыми CC' и проекцией внутренней поверхности пакета статора является расстоянием от поверхности магнита до внутренней поверхности статора δ . $\delta \leq 0,1 H$.

Касательные к кривым DC и C'D' в любых произвольных точках, выбранных по одной на этих кривых, образуют угол не менее 20 механических градусов, что обеспечивает уширение участка магнита DCC'D' в направлении к дну паза.

Намагниченность постоянного магнита создает магнитный поток, который, преодолевая расстояние от поверхности магнита, обращённой к статору, до внутренней поверхности пакета статора, создает магнитодвижущую силу, направленную на размагничивание магнита. При условии, что расстояние от поверхности магнита, обращённой к статору, до внутренней поверхности пакета статора составляет не более десятой части радиального размера магнита, эта магнитодвижущая сила недостаточно велика для размагничивания магнита.

Благодаря тому, что во внешнем участке, уширяющемся в направлении к дну паза ротора, углы, образованные касательными плоскостями к противоположным боковым поверхностям, не менее 20° , более глубокие части уширяющего участка магнита создают в более внешних частях напряжённость магнитного поля, препятствующую размагничивающему действию обмоток.

Благодаря форме магнита более глубокие части расширяющего участка напротив подвергаются размагничивающему действию, за счёт МДС, возникающей при преодолении расстояния от поверхности магнита до поверхности статора. Однако на них воздействует более слабое размагничивающее поле обмоток. В результате того, что радиальный размер расширяющегося участка составляет не менее $1/4$ радиального размера магнита, размагничивающие факторы не достаточны для размагничивания магнита даже при увеличении тока в обмотках.

Кроме того, напряжённость магнитного поля, создаваемая самим магнитом и предотвращающая размагничивание магнита, предотвращает размагничивание магнита, даже если уменьшается высота паза ротора и радиальный размер магнита, что снижает его массу и действующую на него центробежную силу. Поэтому скорость вращения

ротора может быть увеличена без риска его разрушения.

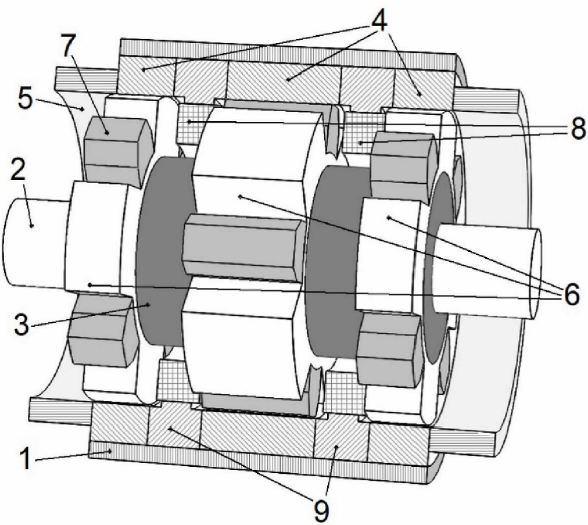
Технический результат предлагаемого решения заключается в повышении надежности электрической машины посредством уменьшения размагничивающей силы, действующей на магниты; предотвращении размагничивания магнитов; увеличении токовой нагрузки; увеличении КПД и удельной мощности без увеличения частоты питающего напряжения и стоимости инвертора; снижении массы магнитов, а также увеличении предельно-допустимой скорости вращения ротора.

(57) Формула изобретения

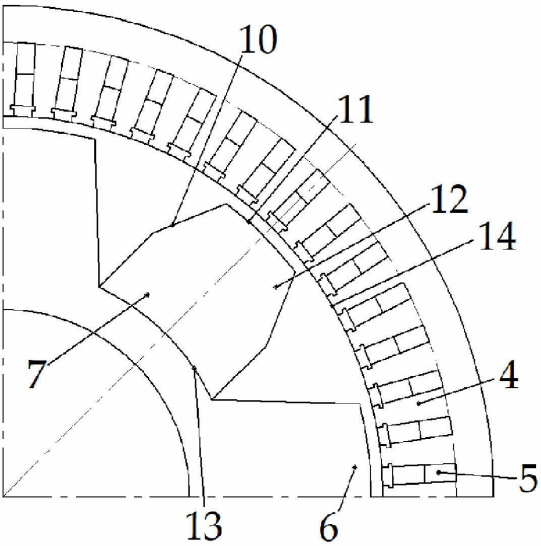
1. Электрическая машина, характеризующаяся тем, что:

- имеет корпус статора из нешихтованного ферромагнитного материала,
 - имеет вал,
 - имеет втулку из нешихтованного ферромагнитного материала, насаженную на вал,
 - имеет два или более шихтованных пакетов 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,
 - 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,
 - имеет постоянные 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 к дну паза пакета ротора, при этом:
 - постоянный магнит имеет внешний участок, уходящий в направлении к дну паза ротора, радиальный размер которого составляет не менее $1/4$ радиального размера магнита, а углы, образованные касательными плоскостями к противоположным боковым поверхностям, составляют не менее 20° ,
 - расстояние от поверхности магнита, обращённой к статору, до внутренней поверхности пакета статора не более десятой части радиального размера магнита.
2. Электрическая машина по п.1, в которой постоянные магниты намагничены радиально.
3. Электрическая машина по п.1, в которой постоянные магниты намагничены однородно.

1

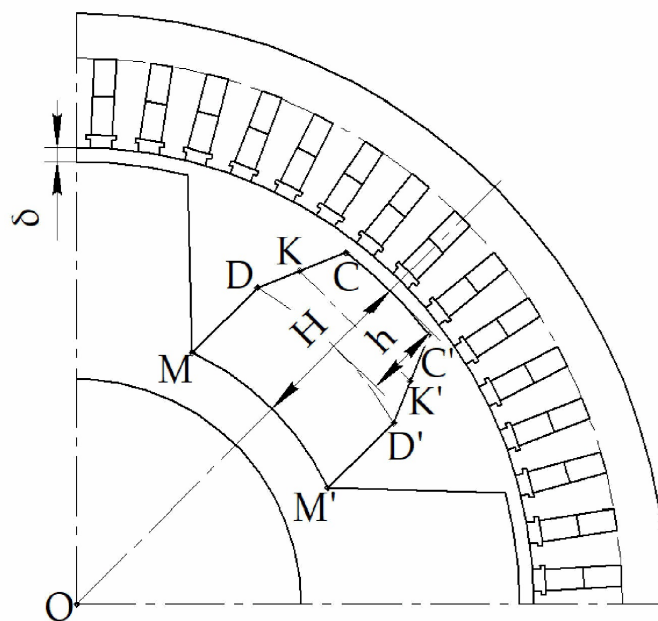


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3