



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: 2005100844/11, 18.06.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.06.2003(30) Конвенционный приоритет:  
10.07.2002 US 60/394,528

(43) Дата публикации заявки: 10.08.2005

(45) Опубликовано: 10.11.2009 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 4370004 A1, 25.01.1983. US 6191515 B1,  
20.02.2001. JP 62270824 A, 25.11.1987. GB  
2335242 A, 15.09.1999. US 5710470 A,  
20.01.1998. US 5360470 A, 01.11.1994. US  
5291975 A, 08.03.1994. JP 1145420 A, 07.06.1989.  
RU 2176039 C2, 20.11.2001. US 3845997 A,  
05.11.1974.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную  
фазу: 14.01.2005(86) Заявка РСТ:  
CA 03/00926 (18.06.2003)(87) Публикация РСТ:  
WO 2004/007984 (22.01.2004)Адрес для переписки:  
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову,  
рег.№ 595

(72) Автор(ы):

**САН Лин Ксианг (СА),  
ЛИН Хуай Ю (СА)**

(73) Патентообладатель(и):

**ТУРБОКОР ИНК. (СА)****(54) УСТРОЙСТВО УВЕЛИЧЕНИЯ ДОПУСТИМОЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ В  
ПОДШИПНИКОВОЙ СИСТЕМЕ РОТОРА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к подшипниковым системам ротора. Устройство увеличения допустимой осевой нагрузки содержит статор и ротор, выполненные с обеспечением увеличения допустимой магнитной осевой нагрузки за счет применения нескольких постоянных магнитов, создающих силу

притяжения или силу отталкивания между ротором и статором. Устройство также содержит элемент для регулирования воздушного зазора для компенсации усилия между ротором и статором, которое противодействует внешнему усилию. Технический результат заключается в повышении допустимой осевой нагрузки в

R U 2 3 7 2 5 3 5 C 2

R U 2 3 7 2 5 3 5 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*F16C 32/04* (2006.01)  
*H02K 7/09* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2005100844/11, 18.06.2003**  
 (24) Effective date for property rights:  
**18.06.2003**  
 (30) Priority:  
**10.07.2002 US 60/394,528**  
 (43) Application published: **10.08.2005**  
 (45) Date of publication: **10.11.2009 Bull. 31**  
 (85) Commencement of national phase: **14.01.2005**  
 (86) PCT application:  
**CA 03/00926 (18.06.2003)**  
 (87) PCT publication:  
**WO 2004/007984 (22.01.2004)**  
 Mail address:  
**129090, Moskva, ul. B.Spaskaja, 25, str.3, OOO  
 "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",  
 pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):  
**SAN Lin Ksiang (CA),  
 LIN Khuaj Ju (CA)**  
 (73) Proprietor(s):  
**TURBOKOR INK. (CA)**

**(54) DEVICE OF INCREASING OF THRUST CAPACITY IN BEARING SYSTEM OF ROTOR**

(57) Abstract:  
 FIELD: mechanical engineering.  
 SUBSTANCE: device for increasing of thrust capacity contains stator and rotor, implemented with providing of increasing of magnetic thrust capacity ensured by application of several constant magnets, creating attractive power or repulsive

force between rotor and stator. Device also contains element for adjustment of air gap for effort compensation between rotor and stator, which counteracts external force.  
 EFFECT: increasing of thrust capacity in bearing system of rotor.  
 36 cl, 5 dwg

RU 2 372 535 C2

RU 2 372 535 C2

Область техники

Настоящее изобретение относится к подшипниковым системам ротора. В частности, изобретение относится к устройству и способу увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора.

Предшествующий уровень техники

В работающих на высокой скорости подшипниковых системах ротора, испытывающих значительные осевые нагрузки, т.е. когда действует значительная нагрузка, параллельная оси вращения, и толкает вал в осевом направлении, создание упорных подшипников, воспринимающих осевое усилие или давление вала, особенно в подшипниковых системах без смазки, является трудной задачей.

Для таких высокоскоростных систем, не имеющих смазки, используются магнитные подшипники, размер которых можно подобрать с учетом наилучших возможных рабочих условий, а также газодинамические подшипники.

Для обеспечения высокой допустимой нагрузки на упорный подшипник в магнитных подшипниковых системах необходимо решить следующие конструкторские задачи:

- высокая допустимая нагрузка означает большую площадь действия усилия в валу, но площадь действия усилия ограничена максимальным наружным диаметром в связи с пределом прочности материала ротора;

- для высокой допустимой нагрузки требуются катушки большого размера и путь магнитного потока в статоре, что обуславливает большие осевые габариты статора, и, в свою очередь, требуется более длинный ротор, но длина ротора ограничена частотой колебаний вала;

- для катушек обычно требуется сильный ток, но однополюсный наконечник не позволяет повысить температуру в обмотке. Кроме того, наличие сильного тока предполагает использование дорогостоящей силовой электроники.

В газодинамических подшипниковых системах, таких как гидростатические или гидродинамические системы, для работающего под высокой осевой нагрузкой подшипника требуется очень большая площадь усилия, которую подчас невозможно обеспечить. В этих системах главная трудность вызвана низкой вязкостью газа, низкой относительной скоростью между ротором и подшипниками вблизи центра вращения и ограниченным обеспечиваемым давлением.

В системах упорных подшипников с элементом качения и в системах гидростатических подшипников сильная нагрузка обуславливает рост потерь в системе, что приводит к низкому КПД и даже к перегреву системы.

Из вышеизложенного очевидно следует необходимость обеспечения компактного, с высоким КПД устройства и способа, обеспечивающих повышение допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора.

Краткое изложение сущности изобретения

Задачей настоящего изобретения является создание усовершенствованного устройства и способа для повышения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора.

Поставленная задача согласно настоящему изобретению решена путем создания устройства для увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора, которое содержит:

статор, установленный на оси вращения подшипниковой системы ротора;  
ротор, отделенный от статора первым воздушным зазором на оси вращения;  
по меньшей мере один постоянный магнит, отделенный от ротора вторым

воздушным зазором.

Устройство характеризуется тем, что по меньшей мере один постоянный магнит, статор и ротор образуют магнитную цепь, обеспечивающую путь магнитного потока, причем поток в первом и втором воздушных зазорах обеспечивает формирование компенсирующего усилия между ротором и статором, которое противодействует внешнему усилию  $F_{ext}$ .

Поставленная задача решена также путем создания способа увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора, согласно которому:

используют статор, установленный на оси вращения подшипниковой системы ротора;

используют ротор, отделенный от статора первым воздушным зазором на оси вращения;

используют по меньшей мере один постоянный магнит, отделенный от ротора вторым воздушным зазором.

Способ характеризуется тем, что по меньшей мере один постоянный магнит, статор и ротор образуют магнитную цепь, обеспечивающую путь магнитного потока, при этом поток в первом и втором воздушных зазорах обеспечивает формирование компенсирующего усилия между ротором и статором, которое противодействует внешнему усилию  $F_{ext}$ .

Краткое описание чертежей

В дальнейшем изобретение поясняется описанием предпочтительных вариантов его осуществления со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых:

Фиг.1 изображает схему устройства для повышения допустимой нагрузки согласно первому варианту осуществления изобретения;

Фиг.2 - схему устройства для повышения допустимой нагрузки согласно второму варианту осуществления изобретения;

Фиг.3 - схему устройства для повышения допустимой нагрузки согласно третьему варианту осуществления настоящего изобретения;

Фиг.4 - схему устройства повышения допустимой нагрузки согласно четвертому варианту осуществления изобретения;

Фиг.5 - схему устройства повышения допустимой нагрузки согласно пятому варианту осуществления настоящего изобретения.

Описание предпочтительных вариантов осуществления настоящего изобретения

Согласно изобретению предложены устройство и способ для увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора.

Устройство увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора согласно первому аспекту настоящего изобретения содержит статор и ротор, выполненные с обеспечением увеличения допустимой магнитной осевой нагрузки за счет применения нескольких постоянных магнитов, создающих силу притяжения между ротором и статором, которая противодействует усилию  $F_{ext}$ , прилагаемому извне. Внешнее усилие  $F_{ext}$  может быть вызвано давлением или силой тяжести при вертикальной конфигурации вала, когда центр тяжести в этой конфигурации расположен низко.

Устройство увеличения допустимой нагрузки содержит статор 14 (фиг.1, 2, 3) и ротор 12, выполненные с возможностью обеспечения компенсирующих усилий между статором 14 и ротором 12.

На Фиг.1 представлен первый вариант осуществления устройства увеличения

допустимой нагрузки, которое содержит ротор 12, однополюсный наконечник 14 статора, постоянный магнит 16 и прокладку 18.

5 Постоянный магнит 16 прикреплен к однополюсному наконечнику 14 статора таким образом, что постоянный магнит 16, однополюсный наконечник 14 и ротор 12 образуют магнитную цепь, причем однополюсный наконечник 14 статора и ротор 12 отделены друг от друга зазором, и также отделены друг от друга зазором ротор 12 и постоянный магнит 16.

10 Сформированная таким образом магнитная цепь обеспечивает путь магнитного потока, показанного пунктирной линией. Магнитный поток в воздушных зазорах между однополюсным наконечником 14 статора и ротором 12, и ротором 12 и постоянным магнитом 16, соответственно, генерирует силу притяжения, которая в состоянии компенсировать внешнее усилие  $F_{ext}$ .

15 За счет оптимизации конструктивных параметров различных выполненных из мягкого магнитного материала поверхностей полюса, магнита и воздушных зазоров можно использовать минимальный объем магнита с соблюдением ограничений по размерам и воздушным зазорам. После того как определено расположение постоянного магнита 16 по отношению к выполненным из мягкого магнитного материала полюсам, посредством прокладки 18 обеспечивается регулировка воздушных зазоров для изменения величины компенсации, поскольку известное физическое правило заключается в том, что сила действия магнитного поля возрастает с уменьшением воздушного зазора. Эта регулировка обеспечивает гибкость при использовании указанной конструкции, при изготовлении и подборе материалов, и гибкость при изменениях в технологическом процессе.

20 Во втором варианте осуществления (Фиг.2) устройство увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора в основном аналогично устройству на Фиг.1. Единственное отличие заключается в том, что магнит 16 установлен в роторе 12 и сила притяжения между ротором 12 и статором 14 создается этим магнитом 16.

25 Ротор 12 выполнен из мягкого магнитного материала, такого как углеродистая сталь. Однополюсный наконечник 14 статора также выполнен из мягкого магнитного материала, такого как мягкая сталь.

30 Согласно третьему варианту осуществления (Фиг.3) сила притяжения между ротором 12 и статором 14 создается первым магнитом 16a, установленным в роторе 12, и вторым магнитом 16b, установленным в статоре 14. Каждый магнит 16a, 16b имеет полюсы разной полярности, обращенные друг к другу. Альтернативно, когда ротор 12 и статор 14 выполнены из мягких магнитных материалов, то силу притяжения между ротором 12 и статором 14 можно создать за счет расположения поверхностей полюса между ротором 12 и статором 14.

35 Согласно второму аспекту настоящего изобретения устройство увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора содержит статор и ротор, выполненные с обеспечением увеличения допустимой магнитной осевой нагрузки за счет использования нескольких постоянных магнитов, создающих силу отталкивания между ротором и статором.

40 Силу отталкивания можно сформировать первым магнитом 16a (фиг.4), установленным в роторе 12, и вторым магнитом 16b, установленным в статоре 14. При этом в магнитах 16a и 16b полюсы одинаковой полярности обращены друг к другу, например полюс N магнита 16a обращен к полюсу N магнита 16b.

45 Из вышеизложенного следует, что либо силу притяжения, либо силу отталкивания

можно создать с помощью двух магнитов, за счет изменения расположения полярностей разных магнитов, в зависимости от направления действующих внешних сил.

5 В обоих случаях, если устройство увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора, согласно настоящему изобретению, содержит магнит, установленный в роторе, и магнит, установленный в статоре (Фиг.3 и Фиг.4), то ротор 12 и статор 14 могут быть выполнены из немагнитных материалов. Если в роторе 12 и статоре 14 используются мягкие магнитные материалы, то геометрию 10 магнитов и расположение поверхностей полюса и воздушных зазоров можно оптимизировать для использования минимального объема магнитов, что обеспечивает компактность и экономию затрат. Если для статора 14 и ротора 12 используются мягкие магнитные материалы, то усилие, создаваемое в воздушном зазоре между ними, также способствует созданию компенсирующего усилия. Поэтому 15 для магнита требуется меньшее количество материала. Но этот вариант может оказаться очень дорогостоящим, поскольку мягкие магнитные материалы могут быть довольно дорогими.

Прокладка 18 позволяет изменять воздушные зазоры и, таким образом, 20 регулировать компенсирующее усилие.

Если требуется автоматическая регулировка или регулировка на месте компенсирующего усилия, то можно использовать пьезоэлектрический исполнительный механизм 20 (фиг.5) (вместо прокладки) для регулировки воздушных зазоров, которая, в свою очередь, будет изменять компенсирующее усилие.

25 Специалистам в данной области техники ясно, что конфигурацию, представленную на Фиг.5, можно использовать для компенсации внешнего динамического усилия, если сигнал динамической компенсации подается на пьезоэлектрический исполнительный механизм 20.

30 Для измерения компенсирующего усилия устройство увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора можно обеспечить устройствами 22 (фиг.5) измерения усилия, такими как тензометры или пьезоэлектрические элементы. Это целесообразно для осуществления непрерывного контроля. В активных магнитных подшипниковых системах целесообразно использовать усилие (динамическое или 35 статическое), обеспечиваемое активным подшипником. Поэтому с помощью представленного на Фиг.5 устройства измерения усилия можно измерять усилие, компенсируемое устройством увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора. Таким образом, можно определить общее внешнее усилие, 40 прилагаемое на вал.

Согласно третьему аспекту настоящего изобретения предложен способ достижения увеличения допустимой нагрузки другого уровня за счет регулирования магнитного воздушного зазора между статором и ротором. Раскрытое выше устройство 45 увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора позволяет создавать усилие между статором и ротором, компенсирующее внешнее усилие  $F_{ext}$ .

Регулирование можно обеспечить посредством прокладки (Фиг.1) или автоматически посредством исполнительного механизма, например пьезоэлектрическим элементом, установленным в статоре (Фиг.5).

50 Усилие, обеспечиваемое устройством увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора, можно измерять либо тензометром, либо пьезоэлектрическим элементом (Фиг.5).

Способ согласно третьему аспекту настоящего изобретения предусматривает

использование мягких магнитных материалов для выполнения статора и ротора, что позволяет оптимизировать применение создающих компенсирующее усилие магнитов (Фиг.1-4), или использование прокладки для регулирования компенсирующего усилия, или использование пьезоэлектрического исполнительного механизма для  
5 автоматической регулировки компенсирующего усилия (как статического, так и/или динамического), или использование тензометра или пьезоэлектрического элемента для измерения компенсирующего усилия, или установку устройства увеличения допустимой нагрузки в конце вала, в результате чего исключается необходимость  
10 модифицирования длины вала.

Из вышеизложенного ясно, что в конструкцию можно вносить изменения согласно конкретным вариантам применения. Например, если важно свести к минимуму длину вала, то целесообразной может стать конфигурация, представленная на Фиг.1.

Способ согласно настоящему изобретению обеспечивает возможность увеличения  
15 допустимой магнитной осевой нагрузки и при этом исключает необходимость применения твердых или жидких контактов, т.е. с помощью бесконтактных средств.

Применение настоящего изобретения может быть целесообразным в системах, в которых осевое усилие является однонаправленным либо со стороны внешней  
20 рабочей нагрузки, либо со стороны веса ротора в вертикальной конфигурации.

Предложенное устройство и способ увеличения допустимой нагрузки в подшипниковой системе ротора согласно настоящему изобретению можно использовать в магнитной подшипниковой системе, гидростатической  
25 подшипниковой системе, гидродинамической подшипниковой системе или подшипниковой системе с элементом качения. Например, настоящее изобретение можно использовать для компенсации однонаправленной внешней статической нагрузки, такой как рабочая нагрузка, например статическое давление, или вес вала в вертикальной конфигурации.

В соответствии с настоящим изобретением можно обеспечить компактное и  
30 недорогое средство для компенсации осевой нагрузки - упорный подшипник и устройство увеличения допустимой осевой нагрузки.

Можно также компенсировать динамическую нагрузку, если она измеряется и исполнительный механизм выполнен согласно Фиг.5.

Поскольку устройство увеличения допустимой нагрузки согласно настоящему  
35 изобретению можно установить на одном конце вала (Фиг.1-5), длину вала не нужно модифицировать.

Из вышеизложенного ясно, что изобретение позволяет исключить потери на трение  
40 при непосредственном контакте, например, упорных подшипников с элементом качения или гидростатических упорных подшипников. Поскольку по сравнению с системами упорных подшипников можно использовать значительно большие зазоры между ротором и статором, настоящее изобретение обеспечивает возможность минимальных потерь на обмотку.  
45

#### Формула изобретения

1. Устройство увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора, содержащее

50 статор, установленный на оси (X) вращения подшипниковой системы ротора;  
ротор, установленный на оси (X) вращения и отделенный от статора по оси (X) вращения первым воздушным зазором для магнитного потока, и  
по меньшей мере один постоянный магнит, прикрепленный к статору или ротору и

отделенный соответственно от ротора и от статора вторым воздушным зазором для магнитного потока, и

элемент для регулирования воздушного зазора,

отличающееся тем, что указанный элемент регулирования воздушного зазора предназначен для регулирования указанного первого или второго воздушного зазора для магнитного потока для компенсации усилия между ротором и статором, которое противодействует внешнему усилию  $F_{ext}$ .

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что внешнее усилие  $F_{ext}$  вызвано действием, выбранным из группы, состоящей из давления и силы тяжести при вертикальной конфигурации вала, в которой центр тяжести расположен низко.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что упомянутый по меньшей мере один постоянный магнит прикреплен к статору и отделен от ротора вторым воздушным зазором для магнитного потока.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что упомянутый по меньшей мере один постоянный магнит прикреплен к ротору и отделен от статора вторым воздушным зазором для магнитного потока.

5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что первый магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита прикреплен к статору, а второй магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита прикреплен к ротору, при этом второй воздушный зазор отделяет первый постоянный магнит от ротора и второй постоянный магнит от статора соответственно.

6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что статор и ротор выполнены из немагнитных материалов.

7. Устройство по п.5, отличающееся тем, что первый магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита и второй магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита соответственно имеют полюсы разной полярности, обращенные друг к другу для создания компенсирующей силы притяжения между ротором и статором.

8. Устройство по п.5, отличающееся тем, что первый магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита и второй магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита соответственно имеют полюсы одинаковой полярности, обращенные друг к другу для создания компенсирующей силы отталкивания между ротором и статором.

9. Устройство по п.1, отличающееся тем, что элемент для регулирования воздушного зазора представляет собой разделительный элемент.

10. Устройство по п.1, отличающееся тем, что элемент для регулирования воздушного зазора представляет собой пьезоэлектрический исполнительный механизм, закрепленный на статоре.

11. Устройство по п.5, отличающееся тем, что ротор и статор выполнены из материала, выбранного из группы, состоящей из магнитомягкого материала и немагнитного материала.

12. Устройство по п.1, отличающееся тем, что ротор выполнен из углеродистой стали, а статор выполнен из мягкой стали.

13. Устройство по п.1, отличающееся тем, что внешнее усилие представляет собой усилие, выбранное из группы, состоящей из статического усилия и динамического усилия.

14. Устройство по п.1, отличающееся тем, что дополнительно содержит устройства измерения усилия, предназначенные для измерения компенсирующего усилия.

15. Устройство по п.14, отличающееся тем, что указанные устройства измерения усилия выбраны из группы, состоящей из тензометров и пьезоэлектрических элементов.

16. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оно расположено на одном конце вала подшипниковой системы ротора.

17. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оно является однонаправленным от внешней рабочей нагрузки.

18. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оно является однонаправленным от веса ротора в вертикальной конфигурации.

19. Устройство по п.1, отличающееся тем, что внешнее усилие является однонаправленной внешней статической нагрузкой, выбранной из группы, состоящей из рабочей нагрузки и веса вала в вертикальной конфигурации.

20. Устройство по п.1, отличающееся тем, что подшипниковая система ротора выбрана из группы, состоящей из магнитной подшипниковой системы, гидростатической подшипниковой системы, гидродинамической подшипниковой системы и подшипниковой системы с элементом качения.

21. Способ увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора, заключающийся в том, что

используют статор, установленный на оси (X) вращения подшипниковой системы ротора,

используют ротор, установленный на оси (X) вращения и отделенный от статора по оси (X) вращения первым воздушным зазором для магнитного потока, и

используют по меньшей мере один постоянный магнит, прикрепленный к статору или ротору и отделенный соответственно от ротора или от статора вторым воздушным зазором для магнитного потока,

регулируют первый или второй воздушные зазоры, для чего используют элемент для регулирования первого или второго воздушного зазора в соответствии с внешним усилием  $F_{ext}$ ,

при этом формируют компенсирующее усилие между ротором и статором, которое противодействует внешнему усилию  $F_{ext}$ .

22. Способ по п.21, отличающийся тем, что используют статор, выполненный из мягкой стали, и используют ротор, выполненный из углеродистой стали.

23. Способ по п.21, отличающийся тем, что по меньшей мере один постоянный магнит устанавливают на статоре, при этом второй воздушный зазор для магнитного потока отделяет указанный по меньшей мере один постоянный магнит от ротора.

24. Способ по п.21, отличающийся тем, что по меньшей мере один постоянный магнит устанавливают на роторе, при этом второй воздушный зазор для магнитного потока отделяет указанный по меньшей мере один постоянный магнит от статора.

25. Способ по п.21, отличающийся тем, что закрепляют первый магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита на статоре и второй магнит из по меньшей мере одного постоянного магнита - на роторе, при этом второй воздушный зазор для магнитного потока отделяет указанные первый постоянный магнит от ротора и второй постоянный магнит от статора.

26. Способ по п.25, отличающийся тем, что в качестве статора и в качестве ротора используют статор и ротор, выполненные из материала, выбранного из группы, состоящей из мягкого магнитного материала и немагнитного материала.

27. Способ по п.25, отличающийся тем, что при закреплении по меньшей мере первого постоянного магнита на статоре и второго постоянного магнита на роторе

обеспечивают расположение соответствующих полюсов разной полярности, обращенных друг к другу, для создания компенсирующей силы притяжения между ротором и статором.

5 28. Способ по п.25, отличающийся тем, что при закреплении первого постоянного магнита на статоре и второго постоянного магнита на роторе обеспечивают расположение соответствующих полюсов одинаковой полярности, обращенных друг к другу, для создания компенсирующей силы отталкивания между ротором и статором.

10 29. Способ по любому из пп.21-28, отличающийся тем, что в качестве разделительного элемент для регулирования воздушного зазора для магнитного потока используют пьезоэлектрический исполнительный механизм.

30. Способ по любому из пп.21-28, отличающийся тем, что пьезоэлектрический исполнительный механизм закрепляют на статоре.

15 31. Способ по любому из пп.21-28, отличающийся тем, что внешнее усилие выбирают из группы, состоящей из статического усилия и динамического усилия.

32. Способ по любому из пп.21-28, отличающийся тем, что дополнительно используют устройства измерения усилия, предназначенные для измерения 20 компенсирующего усилия.

33. Способ по п.32, отличающийся тем, что устройства измерения усилия выбирают из группы, состоящей из тензометров и пьезоэлектрических элементов.

34. Способ по п.21, отличающийся тем, что подшипниковую систему выбирают из группы, состоящей из магнитной подшипниковой системы, гидростатической 25 подшипниковой системы, гидродинамической подшипниковой системы и подшипниковой системы с элементом качения.

35. Устройство увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора, содержащее

30 статор, установленный на оси вращения подшипниковой системы ротора; ротор, установленный на оси вращения подшипниковой системы ротора и отделенный от статора по оси вращения первым воздушным зазором для магнитного потока, и

35 по меньшей мере один постоянный магнит, установленный на оси вращения подшипниковой системы ротора,

при этом указанный по меньшей мере один постоянный магнит прикреплен к статору или ротору и отделен соответственно от статора или ротора вторым воздушным зазором для магнитного потока, причем указанный по меньшей мере 40 один постоянный магнит, статор и ротор образуют магнитную цепь, характеризующуюся линией магнитного потока,

первый и второй воздушные зазоры являются регулируемыми,

45 причем магнитный поток в первом и втором воздушных зазорах обеспечивает формирование компенсирующего усилия между статором и ротором, которое противодействует внешнему усилию  $F_{ext}$ .

36. Способ увеличения допустимой осевой нагрузки в подшипниковой системе ротора, заключающийся в том, что

50 используют статор, установленный на оси вращения подшипниковой системы ротора,

используют ротор, установленный на оси вращения подшипниковой системы ротора и отдельный по оси вращения от статора первым воздушным зазором для магнитного потока, и

используют по меньшей мере один постоянный магнит, установленный на оси вращения и отделенный соответственно от ротора или от статора вторым воздушным зазором для магнитного потока,

5 регулируют первый и второй воздушные зазоры для формирования компенсирующего усилия между ротором и статором, которое противодействует внешнему усилию  $F_{ext}$ .

10

15

20

25

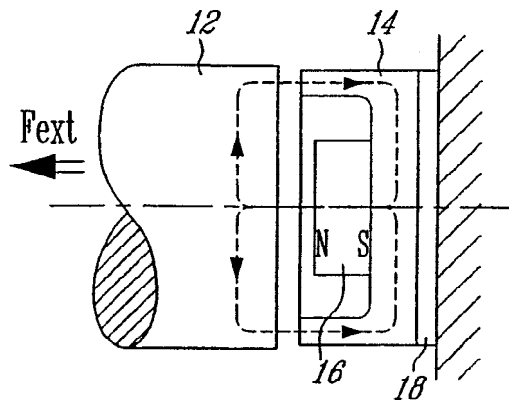
30

35

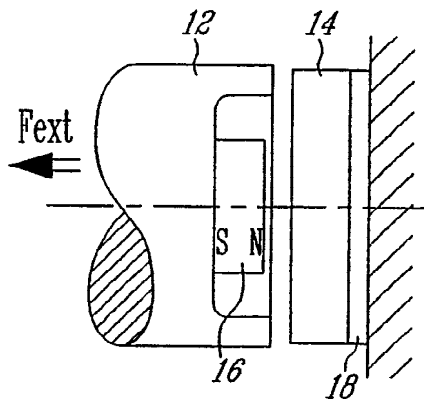
40

45

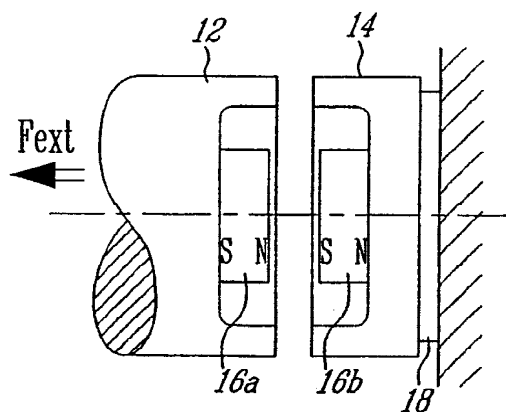
50



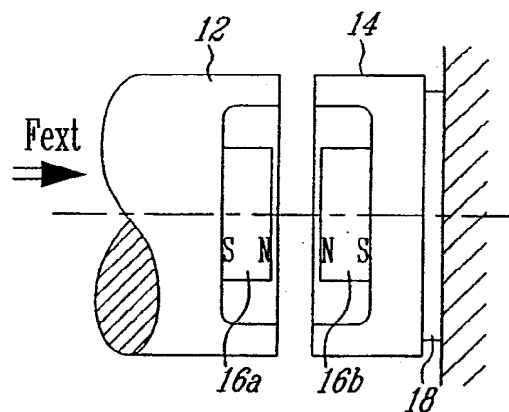
ФИГ.1



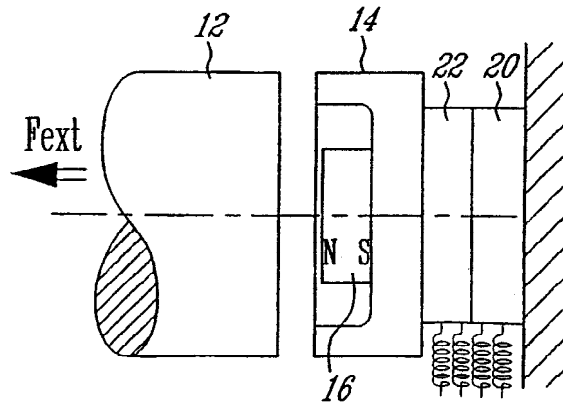
ФИГ.2



ФИГ.3



ФИГ.4



ФИГ.5