

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202291960 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.09.22

(51) Int. Cl. A63B 21/22 (2006.01)
A63B 23/16 (2006.01)
A63B 21/00 (2006.01)
A63B 21/005 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.12.18

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТРЕМОРА КИСТИ РУКИ

(31) 1919084.2

(72) Изобретатель:

(32) 2019.12.20

Онг Фаи, Бакстер Эллиотт, Ибрагим
Юсеф, Найт Стивен, Ко Бенъямин,
Макгейб Гордон, Де Панисс Поль,
Тайлер Стюарт (GB)

(33) GB

(86) PCT/GB2020/053270

(87) WO 2021/123796 2021.06.24

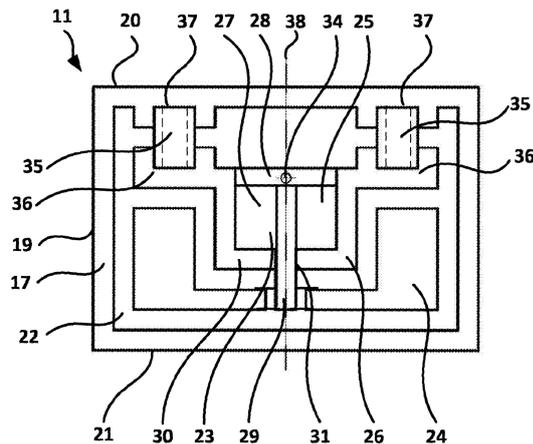
(71) Заявитель:

(74) Представитель:

ДЖАЙРОГИР ЛИМИТЕД (GB)

Медведев В.Н. (RU)

(57) Предлагается устройство для стабилизации тремора кисти руки, содержащее узел (23) вращающегося маховика, устанавливаемый на кисти руки пользователя. Узел (23) вращающегося маховика содержит i) маховик (24), имеющий массу маховика, m , и диаметр маховика, d , и ii) первичный двигатель (25), выполненный с возможностью вращения маховика (24) со скоростью вращения, R , вокруг оси (38) вращения маховика таким образом, что узел (23) вращающегося маховика развивает вращательный момент, имеющий величину от приблизительно 0,05 до приблизительно 0,30 кгм²/с.



A1

202291960

202291960

A1

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-575037EA/55

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТРЕМОРА КИСТИ РУКИ

Уровень техники изобретения

Настоящее изобретение относится к усовершенствованиям или области устройств и способов для стабилизации тремора, в частности, к гироскопическим устройствам для применения при стабилизации тремора частей тела, как физиологического, так и патологического, особенно, кистей рук.

Непроизвольный мышечный тремор происходит при ряде неврологических заболеваний, в значительной мере, дегенеративных заболеваний, таких как болезнь Паркинсона.

Патент US5058571 раскрывает ранее предложенное решение, в котором гироскоп с батарейным питанием закрепляют тесьмой вплотную к тыльной стороне кисти руки. Гироскоп стремится сохранять ориентацию оси собственного вращения и сопротивляется любому действию, которое стремится вызвать изменение данной ориентации. Таким образом, теория применения гироскопа заключается в том, что появление мышечного тремора вызывает перемещение кисти руки, но гироскоп действует против такого перемещения, по существу, нейтрализуя тремор.

Заявка WO2016/102958A1, более ранняя патентная заявка настоящего заявителя, раскрывает гироскопическое устройство для стабилизации тремора. Гироскопическое устройство включает в себя вращающийся маховик, установленный на карданном подвесе, который, в свою очередь, установлен на поворотном столике внутри корпуса гироскопического устройства. Карданный подвес допускает прецессию маховика, и маховик и карданный подвес могут поворачиваться на поворотном столике, чтобы совмещаться с направлением тремора. Для управления прецессией маховика предусмотрены эластомерные демпферы.

Сущность изобретения

В соответствии с аспектом настоящего изобретения предлагается устройство для стабилизации тремора кисти руки, содержащее узел вращающегося маховика, устанавливаемый на кисть руки пользователя; при этом узел вращающегося маховика содержит i) маховик, имеющий массу маховика, m , и диаметр маховика, d , и ii) первичный двигатель, выполненный с возможностью вращения маховика со скоростью вращения, R , вокруг оси вращения маховика таким образом, что узел вращающегося маховика развивает вращательный момент, имеющий величину от приблизительно $0,05 \text{ кгм}^2/\text{с}$ до приблизительно $0,30 \text{ кгм}^2/\text{с}$.

Как выяснилось, данный диапазон вращательного момента выгоден тем, что обеспечивает эффективную стабилизацию тремора кисти руки, без помех для произвольных перемещений. Вращательный момент ниже данного диапазона оказался неэффективным при стабилизации тремора, а вращательный момент выше данного диапазона, как выяснилось, сдерживал произвольные перемещения.

В предпочтительных примерах, масса, m , маховика равна или менее 2 кг, предпочтительно равна или менее 1 кг, предпочтительнее равна или менее 0,5 кг, предпочтительнее, составляет приблизительно от 0,05 кг до 0,5 кг, предпочтительнее, приблизительно от 0,1 кг до 0,2 кг.

В предпочтительных примерах, диаметр маховика, d , равен или менее приблизительно 150 мм, предпочтительнее равен или менее приблизительно 100 мм, предпочтительнее равен или менее приблизительно 80 мм, предпочтительнее, приблизительно равен 50 мм.

В предпочтительных примерах, скорость вращения, R , маховика имеет значение в диапазоне, приблизительно от 5000 об/мин до 70000 об/мин, предпочтительно, приблизительно от 10000 об/мин до 30000 об/мин, предпочтительнее, от приблизительно 15000 об/мин до приблизительно 30000 об/мин.

Как выяснилось, такое устройство подходит для ношения на кисти руки пользователя, с обеспечением, при этом эффективной стабилизации тремора.

В некоторых примерах, устройство может дополнительно содержать контроллер, выполненный с возможностью управления первичным двигателем, и датчик, выполненный с возможностью измерения характеристики перемещения кисти руки пользователя, когда узел вращающегося маховика установлен на кисти руки пользователя. Контроллер может быть выполнен с возможностью управления первичным двигателем, чтобы вращать маховик со скоростью вращения, R , на основании измеренной характеристики.

В некоторых примерах, датчик выполнен с возможностью измерения характеристики тремора кисти руки, когда узел вращающегося маховика установлен на кисти руки пользователя, например, амплитуды, частоты и/или ускорения тремора кисти руки.

В некоторых примерах, устройство дополнительно содержит корпус, и узел вращающегося маховика может дополнительно содержать карданный подвес. Маховик может быть установлен на карданном подвесе, и карданный подвес может быть установлен на корпусе с возможностью поворота вокруг оси прецессии таким образом, что маховик может прецессировать относительно корпуса.

В некоторых примерах, корпус содержит поворотный столик, и карданный подвес установлен с возможностью поворота на поворотном столике, чтобы задавать ось прецессии. Поворотный столик может быть поворотным вокруг оси поворота таким образом, что ось прецессии может поворачиваться относительно корпуса.

В других примерах, корпус содержит посадочное место шарнира, которое взаимодействует с шарнирным элементом карданного подвеса, чтобы устанавливать карданный подвес на корпусе с возможностью поворота вокруг оси прецессии, которая является фиксированной относительно корпуса.

В предпочтительном варианте, маховик содержит центральный дисковый участок и окружную кромку, продолжающуюся в аксиальном направлении оси вращения маховика,

при этом окружная кромка образует заглубленную полость. Заглубленная полость может содержать, по меньшей мере, 50% от общей массы маховика, предпочтительно, по меньшей мере, 75% от общей массы маховика.

В соответствии с дополнительным аспектом настоящего изобретения предлагается устройство для стабилизации тремора, содержащее корпус, который является закрепляемым на части тела пользователя, например, кисти руки, и узел вращающегося маховика, установленный на корпусе, при этом узел вращающегося маховика содержит вращающийся маховик и первичный двигатель, выполненный с возможностью вращения маховика вокруг оси вращения маховика; причем маховик содержит центральный дисковый участок и окружную кромку, продолжающуюся в аксиальном направлении оси вращения маховика, причем окружная кромка образует заглубленную полость и содержит, по меньшей мере, 50% от общей массы маховика, предпочтительно, по меньшей мере, 75% от общей массы маховика.

В некоторых примерах, первичный двигатель, по меньшей мере, частично, вставлен в заглубленную полость маховика.

В предпочтительном варианте, первичный двигатель содержит электродвигатель. Электродвигатель может содержать какой-то один или более из следующих признаков:

отношение высоты в аксиальном направлении оси вращения маховика к ширине, перпендикулярной высоте, равно приблизительно 1 или менее; и/или

бесщеточный электродвигатель; и/или

бесщеточный электродвигатель постоянного тока; и/или

электродвигатель постоянного тока, содержащий ротор с диаметрально поляризованными постоянными магнитами; и/или

электродвигатель постоянного тока, содержащий беспазовые и/или бессердечниковые обмотки; и/или

аксиальная конфигурация потока.

В соответствии с дополнительным аспектом настоящего изобретения предлагается способ изготовления устройства для стабилизации тремора для закрепления на части тела пользователя, например, кисти руки, при этом устройство для стабилизации тремора содержит маховик для создания гироскопических сил, чтобы стабилизировать тремор в части тела пользователя, причем способ содержит следующие этапы:

устанавливают маховик на двигатель устройства для стабилизации тремора, чтобы обеспечить узел вращающегося маховика устройства для стабилизации тремора, причем узел вращающегося маховика содержит вращающийся элемент, содержащий маховик и ротор двигателя;

используют двигатель, чтобы вращать вращающийся элемент;

удаляют материал с вращающегося элемента или добавляют материал на вращающийся элемент, чтобы сбалансировать узел вращающегося маховика; и

собирают узел вращающегося маховика в корпус устройства для стабилизации тремора.

Способ может дополнительно включать в себя этап закрепления двигателя и маховика на карданном подвесе, содержащем шарнирный элемент для оси прецессии узла вращающегося маховика, этап установки карданного подвеса на блоке акселерометров посредством шарнирного элемента, этап использования двигателя, чтобы вращать маховик на блоке акселерометров, и удаления материала с вращающегося элемента или добавления материала на вращающийся элемент.

Маховик предпочтительно изготавливают точением заготовки материала на токарном станке, чтобы сформировать маховик, при этом точение содержит срезание материала с заготовки материала от конца заготовки материала, противоположного патрону токарного станка, чтобы сформировать профиль маховика, и отрезание маховика от заготовки материала, без повторного зажима заготовки материала на токарном станке.

В примерах, материал можно снимать с маховика или добавлять на маховик с использованием бесконтактного процесса, например, абляции, такой как лазерная абляция или электронно-лучевая абляция.

В предпочтительном варианте, маховик содержит окружную поверхность, и при этом этап удаления материала с маховика или добавления материала на маховик содержит удаление материала или добавление материала, с/на, по меньшей мере, двух(две) плоскостей(и) окружной поверхности маховика.

В примерах, способ может содержать следующие этапы:
используют двигатель, чтобы вращать маховик с первой скоростью вращения,
удаляют материал с маховика или добавляют материал на маховик,
затем используют двигатель, чтобы вращать маховик со второй скоростью вращения, и

затем удаляют материал с маховика или добавляют материал на маховик, при этом вторая скорость вращения превышает первую скорость вращения.

В соответствии с дополнительным аспектом настоящего изобретения предлагается устройство для стабилизации тремора, изготовленное в соответствии с вышеописанным способом.

Краткое описание чертежей

Вышеописанные и другие аспекты настоящего изобретения будут подробно описаны далее исключительно в качестве примера, со ссылкой на прилагаемые фигуры, на которых:

Фиг. 1 - изображение устройства для стабилизации тремора, включающего в себя гироскопическое устройство, носимого на руке пользователя;

Фиг. 2 - изображение гироскопического устройства для стабилизации тремора, показанного на фиг. 1;

Фиг. 3А и 3В - поперечные сечения примерного гироскопического устройства;

Фиг. 4 - поперечное сечение другого примерного гироскопического устройства;

Фиг. 5А и 5В - увеличенные виды поджимающего элемента, выполненного с возможностью управления прецессией узла вращающегося маховика гироскопического

устройства;

Фиг. 6 - вид альтернативного поджимающего элемента, содержащего магниты;

Фиг. 7 - изображение примерного гироскопического устройства, содержащего конструкцию из шарика и гнезда для обеспечения оси прецессии;

Фиг. 8 - изображение гироскопического устройства, закрепленного на кисти руки пользователя;

Фиг. 9А и 9В - изображения примерного гироскопического устройства, содержащего поворотный столик;

Фиг. 10 - поперечное сечение гироскопического устройства, которое содержит контроллер и поджимающий элемент с регулируемым усилием;

Фиг. 11 - схема способа управления прецессией гироскопического устройства;

Фиг. 12 - схема способа управления скоростью вращения маховика гироскопического устройства;

Фиг. 13 - результаты испытаний, показывающие среднее уменьшение амплитуды тремора для гироскопических устройств, которые создают разные вращательные моменты;

Фиг. 14А, 14В, 15 и 16 - поперечные сечения примеров маховиков и узлов вращающихся маховиков гироскопического устройства;

Фиг. 17 - пример интегрированных двигателя и маховика;

Фиг. 18А и 18В - поперечные сечения гироскопического устройства, содержащего разъединенные двигатель и маховик;

Фиг. 19 - изображение примерного расположения двигателя и маховика гироскопического устройства;

Фиг. 20 - схема управления двигателем гироскопического устройства;

Фиг. 21 - изображение примерного узла вращающегося маховика;

Фиг. 22 - изображение примерного узла вращающегося маховика, содержащего подшипник между маховиком и карданным подвесом; и

Фиг. 23 - схема способа изготовления маховика, показанного на фиг. 21.

Подробное описание

Гироскоп является устройством, содержащим вращающийся диск, например, маховик, который способен вращаться вокруг оси вращения маховика. Когда маховик вращается, гироскоп будет сопротивляться действию прилагаемой пары сил и стремиться сохранять фиксированную ориентацию. Если гироскоп смещают по углу, то вращательный момент сохраняется вследствие нутации устройства вокруг оси, которая является обоюдно перпендикулярной к оси вращения маховика и оси, по которой смещают устройство.

Гироскоп будет прикладывать момент гироскопической пары сил, который пропорционален по величине моменту инерции маховика, угловой скорости маховика и угловой скорости нутации. Вектор направления момента гироскопической пары сил является пропорциональным векторному произведению угловой скорости маховика и

угловой скорости нутации устройства.

Устройство по настоящему изобретению содержит гироскопическое устройство, содержащее узел гироскопа с вращающейся массой и корпус. Узел гироскопа с вращающейся массой содержит вращающийся маховик, который способен вращаться вокруг оси вращения маховика. Маховик установлен для прецессии вокруг оси прецессии таким образом, что смещение маховика ограничивается поворотом вокруг оси прецессии. В некоторых примерах, маховик установлен на карданном подвесе, который шарнирно закреплен на корпусе, чтобы задавать ось прецессии. В других примерах, карданный подвес установлен на поворотном столике корпуса таким образом, что ось прецессии может вращаться внутри корпуса. Корпус можно закреплять на части тела пользователя, например, кисти руки, и, при использовании, маховик вращается, и тремор части тела пользователя вызывает смещение маховика и карданного подвеса относительно оси прецессии, что создает усилие против вращения, которое сопротивляется тремору и, тем самым, стабилизирует тремор.

Устройство по настоящему изобретению может включать в себя множество гироскопических устройств, расположенных с промежутками на части тела пользователя. Множество гироскопических устройств совместно прикладывают суммарный результирующий момент гироскопической пары сил к телу, когда состояние равновесия тела нарушается, например, во время тремора или поворотного смещения, но допускает использование гироскопов меньшего размера, с распределением, тем самым, массы гироскопов по части тела и облегчением ношения устройства, а также уменьшением габаритов устройства, что создает меньше помех двигательным возможностям и перемещению.

Фиг. 1 представляет вариант осуществления устройства для стабилизации тремора. Устройство для стабилизации тремора является гироскопическим устройством 11, которое закрепляется на перчатке 10 для кисти 12 руки. В показанном варианте осуществления перчатка 10 является перчаткой открытого типа или полуперчаткой, допускающей свободное перемещение пальцев 13 и большого пальца 14. В предпочтительном исполнении перчатка 10 сформирована как бандаж для гироскопического устройства 11, может закрепляться на кисти, пальцах и большом пальце носителя посредством тесемок, соответственно затягивается с использованием регулируемого крепежа типа липучки. Ткань бандажа состоит, предпочтительно, из мягкого, комфортного материала, который можно удобно носить в течение длительных периодов времени. В предпочтительных вариантах осуществления ткань относится по типу к ткани, описанной в документе WO 2014/127291, в которой между поверхностью мягкой силиконовой ткани и кожей носителя возникают силы Ван-дер-Ваальса, удерживающие ткань на месте.

В других примерах, перчатка 10 может быть заменена простой тесьмой или другим средством прочного закрепления гироскопического устройства 11 на кисти руки или другой части тела пользователя. Закрепление гироскопического устройства 11 на части тела пользователя является достаточно жестким, чтобы передавать тремор от части тела

на гироскопическое устройство 11 и передавать гироскопические силы от гироскопического устройства 11 на часть тела пользователя.

Описанные устройства являются гироскопическими устройствами 11, которые можно закреплять на кисти 12 руки пользователя, но следует понимать, что устройство для стабилизации тремора, в частности, гироскопическое устройство 11, можно закреплять на любой части тела пользователя, чтобы стабилизировать тремор в данной части тела или в соседних частях тела. Например, гироскопическое устройство 11 можно закреплять на предплечье пользователя, плечевой части руки, плече, бедре, голени, лодыжке, шее, туловище или голове, чтобы стабилизировать тремор в данных частях тела. Как описано выше, пользователь может быть оснащен множеством гироскопических устройств 11, установленных на разных частях тела. Разные гироскопические устройства 11 могут стабилизировать тремор в разных частях тела или могут взаимодействовать друг с другом, чтобы стабилизировать тремор в конкретной части тела. Например, пользователь может иметь первое гироскопическое устройство 11, установленное на плечевой части руки, второе гироскопическое устройство 11, установленное на предплечье, и третье гироскопическое устройство 11, установленное на кисти руки, и все три гироскопических устройства 11 будут действовать, чтобы стабилизировать тремор руки и кисти руки пользователя с целью обеспечения устойчивого состояния кисти руки для выполнения некоторой задачи, например, приема пищи.

На фиг. 2 показано гироскопическое устройство 11 устройства для стабилизации тремора. Гироскопическое устройство 11 содержит элемент 15 крепления, который служит для закрепления гироскопического устройства 11 на теле пользователя, в данном примере, перчатки 10 и кисти 12 руки, как показано на фиг. 1. Гироскопическое устройство 11 включает в себя кабель 16 для подачи питания и/или управляющих сигналов в гироскопическое устройство 11 из другого компонента. Например, блок питания, содержащий источник питания, например, батарейку, может быть закреплен на руке пользователя или любом месте на теле пользователя, например, на ремне. Блок питания может включать в себя контроллер, управляющий гироскопическим устройством 11 и подключаемый кабелем 16, или гироскопическое устройство 11 может включать в себя контроллер.

В примерах, блок питания может быть подзаряжаемым благодаря его подсоединению к электрической сети, например, посредством зарядного кабеля. В примерах блок питания содержит единственный соединитель, который можно соединять либо с кабелем 16 гироскопического устройства 11, либо с зарядным кабелем. В примерах, кабель 16 гироскопического устройства 11 содержит магнитный компонент, и соединитель блока питания содержит встречный магнитный компонент, в результате чего магнитные компоненты обеспечивают магнитное присоединение кабеля 16 гироскопического устройства 11 к соединителю. В примерах, блок питания включает в себя датчик, например, датчик на эффекте Холла, выполненный с возможностью обнаружения магнитного компонента кабеля 16 гироскопического устройства 11. Таким

образом, блок питания может определять, подключен ли к гироскопическому устройству 11 или к зарядному кабелю (который не содержит магнитного компонента). В примерах, соединитель на зарядном кабеле, который соединяется с блоком питания, содержит кожух, выполненный с возможностью предотвращения отсоединения зарядного кабеля от блока питания, во время ношения блока питания. Например, кожух может содержать выступ, предназначенный для охвата части блока питания, который находится вплотную к пользователю и следовательно является недоступным во время ношения блока питания. Соответственно, кожух может предотвращать отсоединение зарядного кабеля от блока питания во время ношения блока питания. В некоторых примерах, гироскопическое устройство 11 содержит встроенный блок питания, например, батарейку, и, в данном примере, кабель 16 может быть не нужен.

Как показано на фиг. 1 и 2, гироскопическое устройство 11 включает в себя корпус 17, который вмещает узел вращающегося маховика (не показанный на фиг. 2). Корпус 17 имеет, в общем, цилиндрическую форму с окружной поверхностью 19 и противоположными торцевыми поверхностями 20, 21. В показанных примерах торцевые поверхности 20, 21 корпуса 17 являются плоскими, хотя, в других примерах, одна или обе торцевые поверхности 20, 21 могут быть изогнутыми, например, изогнутыми для согласования с контуром части тела пользователя, на которой закрепляют корпус, например, контуром тыльной стороны кисти 12 руки.

Как показано на фиг. 1 и 2, торцевая поверхность 21 корпуса 17 располагается на тыльной стороне кисти 12 руки пользователя. В показанном примере гироскопическое устройство 11 содержит элемент 15 крепления в форме профилированной пластины, которую можно закреплять на тыльной стороне кисти 12 руки и/или на перчатке 10, показанной на фиг. 1, посредством тесемок (не показанных для ясности), пропущенных сквозь прорези 18, сформированные в элементе 15 крепления. В качестве альтернативы, элемент 15 крепления можно закреплять на перчатке 10 посредством одного или более крепежных средств, предпочтительно, быстрорасцепляемого крепежного средства, такого как байонетный замок или зажим, или что-то подобное.

На фиг. 3А и 3В представлены поперечные сечения примерного гироскопического устройства 11, которое имеет фиксированную ось 34 прецессии. Гироскопическое устройство 11 содержит корпус 17, который является, в общем, цилиндрическим и ограничивает внутреннюю полость 22, в которой размещается узел 23 вращающегося маховика. Узел 23 вращающегося маховика содержит маховик 24, двигатель 25 и карданный подвес 26. Двигатель 25 включает в себя статор 27 и ротор 28, содержащий валик 29 двигателя. Маховик 24 установлен на валике 29 двигателя. Маховик 24 может быть установлен на валике 29 двигателя по прессовой посадке, с закреплением шпонкой на валике или с помощью крепежного средства. Статор 27 двигателя 25 закреплен на карданном подвесе 26, который, как показано на фиг. 3В, установлен с возможностью поворота на корпусе 17. Двигатель 25 выполнен с возможностью вращения маховика 24 вокруг оси вращения маховика 38.

Как показано, карданный подвес 26 содержит крепежный участок 30 двигателя в форме плоского элемента, на котором закреплен двигатель 25. Крепежный участок 30 двигателя располагается между двигателем 25 и маховиком 24 и содержит отверстие 31, через которое проходит валик 29 двигателя. Карданный подвес 26 содержит шарнирные элементы 32, которые продолжаются за пределы внешней кромки маховика 24 и взаимодействуют с посадочными местами 33 шарниров, сформированными в корпусе 17, чтобы создать шарнир между карданным подвесом 26 и корпусом 17. Таким образом, узел 23 вращающегося маховика, в частности, карданный подвес 26, двигатель 25 и маховик 24, являются шарнирно установленными внутри корпуса 17, с возможностью поворота вокруг оси 34 прецессии. На фиг. 3В видно, что ось 34 прецессии продолжается через узел 23 вращающегося маховика, а на фиг. 3А видно, что ось 34 прецессии перпендикулярна к плоскости изображения. Посадочные места 33 и шарнирные элементы 32 обеспечивают ось 34 прецессии, которая является фиксированной относительно корпуса 17.

Тем самым, двигатель 25 выполнен с возможностью вращения маховика 24 внутри корпуса 17, который закрепляется на кисти 12 руки пользователя, как показано на фиг. 1.

Как изложено выше, электропитание подается по кабелю (16, смотри фиг. 2) или от батарейки внутри корпуса 17. В некоторых примерах, электрическое подсоединение двигателя 25 обеспечивается гибкими проводами, которые продолжаются между разъемом питания или батарейкой в корпусе 17 и двигателем 25. Гибкие провода приспособляются к перемещению двигателя 25 вокруг оси 34 прецессии. В предпочтительном исполнении, гибкие провода располагаются так, что они не скручиваются или не перегибаются при прецессии узла 23 вращающегося маховика. Гибкие провода можно провести от отверстия в корпусе 17 к двигателю (и другим электронным компонентам) с одним или более изгибами. В других примерах, между карданным подвесом 26 и корпусом 17 может быть обеспечено контактное кольцо для обеспечения электрического подсоединения двигателя 25. В других примерах для передачи электропитания от разъема питания или батарейки в корпусе 17 к двигателю 25 обеспечивается индуктивная связь, при желании, через карданный подвес 26.

Когда кисть 12 руки пользователя проявляет тремор, узел 23 вращающегося маховика поворачивается вокруг оси 34 прецессии. Гироскопический эффект вращающегося маховика 24 создает гироскопическую силу, которая противодействует тремору. Гироскопическая сила передается на кисть 12 руки пользователя через корпус 17 и элемент 15 крепления. Как дополнительно поясняется далее в настоящем документе, поджимающие элементы 35 выполнены с возможностью управления прецессией узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии.

Как показано на фиг. 3А, карданный подвес 26 дополнительно содержит пластинчатые элементы 36, которые продолжаются от крепежного участка 30 двигателя карданного подвеса 26. Пластинчатые элементы 36 продолжаются до положения, в котором они находятся напротив внутренней поверхности 37 корпуса 17, с образованием пространства в промежутке. Поджимающий элемент, в данном примере пружина 35,

располагается между каждым пластинчатым элементом 36 и внутренней поверхностью 37 корпуса 17.

На фиг. 3А представлено поперечное сечение гироскопического устройства 11, которое взято под углом 90 градусов к поперечному сечению, показанному на фиг. 3В. В данном примере, пластинчатые элементы 36 смещены по углу от шарнирных элементов 32 вокруг оси вращения маховика 38. Следовательно, когда тремор вынуждает узел 23 вращающегося маховика повернуться вокруг оси 34 прецессии, как изложено выше, один из пластинчатых элементов 36 сжимает соответствующую пружину 35. Усилие, прикладываемое пружиной 35 к корпусу 17, поджимает узел 23 вращающегося маховика обратно к положению равновесия (показанное на фиг. 3А и 3В).

В некоторых примерах, пружины 35 закреплены как на корпусе 17, так и на пластинчатых элементах 36 карданного подвеса 26 таким образом, что разжатие пружин 35 также поджимает узел 23 вращающегося маховика обратно к положению равновесия (показанное на фиг. 3А и 3В).

Следовательно, пружины 35 служат для управления прецессией узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии. Поджимающее усилие, обеспечиваемое пружинами 35, эффективно повышает частоту тремора, который может стабилизироваться посредством возврата узла 23 вращающегося маховика в положение равновесия быстрее, чем узел 23 вращающегося маховика будет поворачивать обратно свое направленное действие, обусловленное гироскопической силой. Поскольку тремор кисти руки обычно имеет небольшую величину и высокую частоту (т.е. короткий и быстрый тремор), то пружины 35 эффективно позволяют гироскопическому устройству 11 противодействовать последовательному тремору путем ограничения поворота вокруг оси 34 прецессии и посредством быстрого возвращения узла 23 вращающегося маховика в положение равновесия.

На фиг. 4 показана альтернативная компоновка карданного подвеса 26 и пружины 35, в которой карданный подвес 26 установлен с возможностью поворота на корпусе 17 вокруг шарнира 39, сформированного на одной боковой стороне корпуса 17. Шарнирный элемент 32 карданного подвеса 26 продолжается за границы маховика 24 к шарниру 39. В данном примере шарнир 39 задает ось 34 прецессии, которая является фиксированной относительно корпуса 17.

Пластинчатый элемент 36 карданного подвеса 26 продолжается в противоположном направлении относительно шарнирного элемента 32 и контактирует с пружиной 35 таким же образом, как описано выше. В данном примере, пружина 35 закреплена на внутренней поверхности 37 корпуса 17 и на пластинчатом элементе 36 таким образом, что пружина 35 противодействует прецессии узла 23 вращающегося маховика в любом направлении вокруг оси 34 прецессии, посредством либо сжатия, либо разжима пружины 35.

Корпус 17 и карданный подвес 26 выполнены с возможностью ограничения поворота узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии. На фиг. 5А и 5В

показаны увеличенные виды пластинчатого элемента 36, пружины 35 и корпуса 17. На фиг. 5А показан пластинчатый элемент 36 в положении равновесия. Пластинчатый элемент 36 включает в себя посадочное место 40 для удерживания первого конца пружины 35, и внутренняя поверхность 37 корпуса 17 включает в себя аналогичное посадочное место 41 для удерживания другого конца пружины 35. Как изложено выше, пружина 35 может быть закреплена на пластинчатом элементе 36 и/или корпусе 17, а именно, в посадочных местах 40, 41.

В примерах, между пружиной 35 и пластинчатым элементом 36 располагается эластомерный демпфер 42. Эластомерный демпфер 42 сглаживает усилия, прилагаемые пружиной 35 к пластинчатому элементу 36 и наоборот. Эластомерный демпфер 42 может быть, например, силиконовой или нейлоновой вставкой. В некоторых примерах, эластомерный демпфер 42 располагается, в качестве альтернативы, между корпусом 17 и пружиной 35, в посадочном месте 41. В некоторых примерах, между пружиной 35 пластинчатым элементом 36 обеспечен эластомерный демпфер, и между корпусом 17 и пружиной 35 обеспечен второй эластомерный демпфер.

В примере, показанном на фиг. 6, поджимающий элемент содержит первый магнит 98, закрепленный на карданном подвесе 26, а именно, в посадочном месте 40, описанном со ссылкой на фиг. 5А и 5В, и второй магнит 99, закрепленный на корпусе 17, а именно, в посадочном месте 41, описанном со ссылкой на фиг. 5А и 5В. Магниты 98, 99 выполнены с возможностью отталкивания друг от друга, с обеспечением, тем самым, поджимающего усилия, которое противодействует прецессии узла 23 вращающегося маховика.

Как показано на фиг. 5В и 6, стенка 43 пластинчатого элемента 36 может служить жестким упором, стопорящим прецессию узла 23 вращающегося маховика. В данном примере, при максимальном угле прецессии, стенка 43 контактирует с корпусом 17 и препятствует дальнейшему повороту. В альтернативных примерах корпус 17 может содержать стенку, которая действует как жесткий упор, кроме или вместо показанной стенки 43.

Таким образом, карданный подвес 26 и корпус 17 выполнены с возможностью ограничения поворота узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии. В примерах, максимальный угол прецессии имеет значение, предпочтительно, меньше, чем приблизительно 30 градусов, предпочтительнее, меньше, чем приблизительно 20 градусов, и предпочтительнее, приблизительно равное 10 градусам, и предпочтительнее всего, приблизительно равное 5 градусам. Ограничение угла прецессии означает такую полезную возможность, что узел 23 гироскопа с вращающейся массой не прецессирует сверх необходимости для создания восстанавливающей силы при треморе, ограничивает величину вращательного момента, который развивается, чтобы предотвратить чрезмерное увеличение гироскопических сил, и гарантирует, что узел 23 вращающегося маховика возвращается в положение равновесия за короткий промежуток времени, вследствие чего возможно противодействие любому последующему тремору (т.е. гарантирует, что гироскопическое устройство 11 среагирует на последующий тремор). Более того,

ограничение угла прецессии обеспечивает более компактное гироскопическое устройство 11, так как корпус 17 не должен предусматривать место для дальнейшего поворота узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии.

В примерном гироскопическом устройстве 11, показанном на фиг. 7, карданный подвес 26 установлен на корпусе 17 при посредстве шарового шарнира 82, который задает ось 34 прецессии. двигатель 25 и маховик 24 установлены на карданном подвесе 26, и, как показано, карданный подвес 26 содержит шарик 83, и корпус 17 содержит гнездо 84, которое вмещает шарик 83 и позволяет шарика 83 и карданному подвесу 26 поворачиваться. Гнездо 84 предпочтительно имеет такую форму, чтобы шарик 83 и карданный подвес 26 могли поворачиваться только в одной плоскости (плоскости страницы, как показано), или предусмотрены дополнительные направляющие, чтобы ограничивать поворот шарика 83 и карданного подвеса 26 одной плоскостью. Это обеспечивает шарнир 82 с фиксированной осью 34 прецессии. Как и в примерах, показанных на фиг. 3А-6, для противодействия повороту карданного подвеса 26 вокруг оси 34 прецессии предусмотрены один или более поджимающих элементов 35. Шаровой шарнир 82 выгодно располагается на одной линии с осью 38 вращения маховика 24, и поэтому радиальный размер узла 23 вращающегося маховика получается меньше, чем в примерах, показанных на фиг. 3А-6.

Поджимающий(ие) элемент или элементы 35 в примере, показанном на фиг. 7, может или могут быть обеспечены в посадочном месте, с упором и эластомерным демпфером, как показано на фиг. 5А-6.

Как изложено выше, ось 34 прецессии узла 23 вращающегося маховика задана шарниром, сформированным между карданным подвесом 26 и корпусом 17. Ориентация оси 34 прецессии является фиксированной относительно корпуса 17, и, как изложено выше, корпус 17 фиксируется относительно кисти 12 руки пользователя, при использовании. На фиг. 8 изображено гироскопическое устройство 11 в положении на тыльной стороне кисти 12 руки пользователя. Ось 44 является воображаемой продольной осью кисти 12 руки, продолжающейся от руки пользователя параллельно обычному положению пальцев 13 пользователя через центр гироскопического устройства 11. Как показано, ось 34 прецессии узла 23 вращающегося маховика гироскопического устройства 11 располагается непараллельно и образует не прямой угол с осью 44 кисти руки.

Как поясняется ниже, угловое смещение между осью 34 прецессии и осью 44 кисти руки позволяет тремору в кисти 12 руки пользователя вызывать поворот узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии, а также позволяет гироскопической силе, развиваемой узлом 23 вращающегося маховика противодействовать тремору.

В частности, тремор кисти 12 руки пользователя будет содержать некоторую комбинацию поворота вокруг оси 44 кисти руки, оси 46 поперек кисти руки, перпендикулярной оси 44 кисти руки и в плоскости кисти 12 руки, и третьей оси (не показанной), которая перпендикулярна как оси 44 кисти руки, так и оси 46 поперек кисти руки (т.е. является нормальной к плоскости изображения на фиг. 7). Обычно, наибольшие

и самые беспокоящие составляющие тремора кисти руки представлены поворотом вокруг оси 44 кисти руки и оси 46 поперек кисти руки. Расположение оси 34 прецессии, показанное на фиг. 7, предусматривает стабилизацию тремора вокруг оси 44 кисти руки и оси 46 поперек кисти руки, так как поворот вокруг любой из этих осей будет вызывать прецессию узла 23 вращающегося маховика. Любое угловое смещение между третьей осью (не показанной) и осью вращения маховика также будет вызывать прецессию узла 23 вращающегося маховика и, следовательно, будет стабилизироваться гироскопическим устройством 11.

В предпочтительных примерах, угловое смещение между осью 34 прецессии и осью 44 кисти руки составляет от 5 градусов до 85 градусов, предпочтительно от 5 градусов до 45 градусов, предпочтительнее от 10 градусов до 20 градусов. Предпочтительное угловое смещение между осью 34 прецессии и осью 44 кисти руки обеспечивает более уверенную стабилизацию тремора вокруг оси 44 кисти руки, чем вокруг оси 46 поперек кисти руки, так как тремор вокруг оси 44 кисти руки является, в общем, наиболее беспокоящим для выполняемых задач.

В частности, гироскопический эффект, производимый вращательным моментом маховика 24, действует под углом 90 градусов к оси 34 прецессии. Следовательно, в схеме расположения, показанной на фиг. 8, гироскопическое устройство 11 ориентировано для стабилизации, главным образом, тремора кисти 12 руки в виде поворотов вокруг оси 44 кисти руки. Тремор, содержащий поворот вокруг оси 44 кисти руки, будет поворачивать узел 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии, с получением, в результате, стабилизирующего усилия, действующего вокруг оси 45, показанной на фиг. 8, которая располагается под 90 градусов к оси 34 прецессии. Вследствие углового расположения оси 34 прецессии относительно оси 44 кисти руки, большая часть стабилизирующего усилия работает против тремора кисти руки вокруг оси 44 кисти руки. Кроме того, вследствие углового расположения оси 34 прецессии относительно оси 44 кисти руки, доля стабилизирующего усилия стабилизирует также тремор кисти 12 руки вокруг оси 46, которая перпендикулярна оси 44 кисти руки. Следовательно, полезное свойство состоит в том, что положение оси 34 прецессии внутри гироскопического устройства 11 может быть фиксированным, при этом с обеспечением стабилизации разных видов тремора.

Угловое расположение оси 34 прецессии относительно оси 44 кисти руки может быть выбрано с учетом профиля тремора конкретного пользователя. В предыдущей заявке WO2016/102958A1 настоящего заявителя узел вращающегося маховика установлен на поворотном столике внутри корпуса таким образом, чтобы угловое смещение изменялось в соответствии с тремором. Однако авторы изобретения нашли, что угловое положение оси прецессии относительно кисти 12 руки пользователя можно зафиксировать, что успешно обеспечивает эффективную стабилизацию тремора, при сохранении малого размера, низкого профиля и меньшего веса гироскопического устройства 11 с меньшим числом подвижных частей. Кроме того, фиксированная ось прецессии, как описано выше, улучшает передачу гироскопических сил от гироскопического устройства 11 на кисть 12

руки пользователя, поскольку между маховиком 24 и элементом 15 крепления находится меньше подвижных частей, что ослабляет любое демпфирование, которое могло бы создаваться такими подвижными частями (например, вследствие изгиба, люфта в подшипниках или чего-то подобного).

В некоторых примерах, положение оси 34 прецессии относительно кисти 12 руки пользователя можно настроить по профилю тремора пользователя. Например, пользователя, который проявляет, главным образом, тремор кисти руки вокруг оси 44 кисти руки, можно снабдить гироскопическим устройством 11, имеющим ось 34 прецессии, которая совмещена с осью 44 кисти руки, и поэтому стабилизирующее усилие обеспечивается только вокруг оси 44 кисти руки. Однако большинство пользователей имеют профиль тремора, который лучше всего стабилизируется при угловом смещении от 5 градусов до 85 градусов между осью 44 кисти руки и осью 34 прецессии, как показано на фиг. 8. В частности, угловое смещение от 5 градусов до 45 градусов или от 20 до 30 градусов будет обеспечивать эффективную стабилизацию тремора, при большинстве профилей тремора пользователей.

В некоторых примерах, гироскопическое устройство 11 настраивают так, чтобы ось 34 прецессии была параллельной оси 46 поперек кисти руки или оси 44 кисти руки. Как изложено выше, тремор кисти руки пользователя содержит перемещение в разных направлениях, и поэтому возможно, чтобы узел 23 вращающегося маховика поворачивался (т.е. прецессировал), при любой ориентации оси 34 прецессии на кисти 12 руки. Кроме того, если гироскопическое устройство 11 используют на других частях тела, то ось 34 прецессии можно располагать в разных ориентациях в соответствии с тремором данной части тела.

Кроме того, пружину или пружины 35, предусмотренные для управления прецессией узла 23 вращающегося маховика и возврата узла 23 вращающегося маховика в положение равновесия, можно подобрать в соответствии с профилем тремора пользователя. В частности, пользователю с тремором с большей амплитудой и низкой частотой лучше подходили бы пружины 35, имеющие меньшую жесткость пружины, чем пользователю с тремором с меньшей амплитудой и более высокой частотой. Следовательно, пружины 35 можно подбирать для создания индивидуального гироскопического устройства 11.

В примере, показанном на фиг. 9А и 9В, корпус 17 содержит узел 85 поворотного столика для установки карданного подвеса 26. В данном примере, ось 34 прецессии может поворачиваться внутри корпуса 17 таким образом, что ориентация оси 34 прецессии относительно части тела пользователя может изменяться после того, как гироскопическое устройство 11 закреплено на части тела пользователя. В данном примере, как показано, корпус 17 содержит узел 85 поворотного столика, содержащий поворотный столик 86, на котором карданный подвес 26 установлен с возможностью поворота подобно тому, как карданный подвес 26, показанный на фиг. 3А и 3В, установлен на корпусе 17. В частности, узел 23 вращающегося маховика (т.е. карданный подвес 26, двигатель 25, и

маховик 24) шарнирно установлен на поворотном столике таким образом, что узел 23 вращающегося маховика может поворачиваться вокруг оси 34 прецессии, заданной между поворотным столиком 86 и карданным подвесом 26. Поджимающие элементы, например, пружины 35, выполнены с возможностью работы между поворотным столиком 86 и карданным подвесом 26. Таким образом, поджимающие элементы 35 действуют между карданным подвесом 26 и корпусом 17 через посредство узла 85 поворотного столика. Поворотный столик 86 установлен на корпусе 17 на шарнирной оси 87, которая задает ось 88 вращения для поворота поворотного столика 86 и, вместе с ним, узла 23 вращающегося маховика карданного подвеса 26, двигателя 25 и маховика 24.

В некоторых примерах, для управления поворотом поворотного столика 86 и узла 23 вращающегося маховика может быть обеспечен двигатель 89, или поворотный столик 86 и узел 23 вращающегося маховика могут свободно поворачиваться вокруг шарнирной оси 87 внутри корпуса 17, и поэтому узел 23 вращающегося маховика может автоматически ориентироваться по тремору пользователя.

В предпочтительных примерах, поджимающий элемент 35, работающий между карданным подвесом 26 и корпусом 17 или поворотным столиком 86 гироскопического устройства 11, содержит поджимающий элемент с регулируемым усилием. Поджимающий элемент с регулируемым усилием, как описано выше, можно предусмотреть для любого из примерных гироскопических устройств 11, показанных на фиг. 3А-9.

Например, поджимающий элемент с регулируемым усилием может содержать регулирующую пружину, например, пружину сжатия, содержащую резьбовой стержень, продолжающийся посередине пружины сжатия, и резьбовую регулируемую гайку, закрепленную на резьбовом стержне, так что вращение резьбового стержня и/или резьбовой регулирующей гайки сжимает или разжимает пружину сжатия, изменяя поджимающее усилие, которое она обеспечивает. Для вращения резьбового стержня и/или регулирующей гайки может быть предусмотрено исполнительное устройство.

В другом примере, поджимающий элемент с регулируемым усилием может содержать пневматическую пружину с регулируемым усилием, при этом давление газа внутри пневматической пружины с регулируемым усилием можно изменять для регулировки поджимающего усилия, создаваемого пневматической пружиной с регулируемым усилием. Для снижения или повышения давления газа в пневматической пружине с регулируемым усилием может быть предусмотрено исполнительное устройство. Исполнительное устройство может содержать стравливающий клапан для снижения давления и/или компрессор для повышения давления.

В дополнительном примере, поджимающий элемент с регулируемым усилием может содержать электромагнитную конструкцию, в которой в корпусе 17 или поворотном столике 86 предусмотрен электромагнит, и противонаправленный постоянный магнит предусмотрен на карданном подвесе (или наоборот). В данной конструкции, управление электропитанием, подаваемым в электромагнит, регулирует

поджимающее усилие, создаваемое поджимающим элементом с регулируемым усилием. Для управления электромагнитом может быть предусмотрено исполнительное устройство.

В некоторых примерах, поджимающее усилие поджимающего элемента с регулируемым усилием можно настраивать для настройки гироскопического устройства 11 под конкретного пользователя. А именно, поджимающее усилие можно настраивать для управления прецессией узла 23 вращающегося маховика в таком режиме, который настроен соответственно потребностям пользователя, как описано выше. Например, поджимающее усилие и/или максимальный угол прецессии можно настраивать, исходя из амплитуды и частоты тремора пользователя. Для пользователя с тремором с меньшей амплитудой и более высокой частотой можно обеспечивать большее поджимающее усилие и меньший максимальный угол прецессии, тогда как для пользователя с тремором с большей амплитудой и меньшей частотой можно обеспечивать меньшее поджимающее усилие и больший максимальный угол прецессии.

В других примерах, гироскопическое устройство 11 может быть выполнено с возможностью регулировки поджимающего усилия поджимающего элемента с регулируемым усилием во время работы, то есть, динамически. Это позволяет поджимающему усилию изменяться в соответствии с текущим тремором пользователя. Кроме того, данная конструкция подразумевает такую полезную возможность, что единственное устройство настраивается для разных пользователей с учетом их конкретного тремора.

Фиг. 10 является схематическим изображением гироскопического устройства 11, содержащего систему динамического регулирования для динамического регулирования поджимающего элемента с регулируемым усилием в соответствии с измеренным тремором. Показанный пример основан на примере, показанном на фиг. 3А и 3В, но следует понимать, что его можно также применить к примерам, показанным на фиг. 4, 7 и 9А и 9В.

На фиг. 10 показано гироскопическое устройство 11, содержащее корпус 17 и узел 23 вращающегося маховика. Узел 23 вращающегося маховика включает в себя маховик 24, двигатель 25 и карданный подвес 26. Карданный подвес 26 установлен с возможностью поворота на корпусе 17 таким же образом, как описано со ссылкой на фиг. 3А и 3В. В данном примере, поджимающие элементы 47 с регулируемым усилием обеспечены между корпусом 17 и пластинчатыми элементами 36 карданного подвеса 26. Каждый поджимающий элемент 47 с регулируемым усилием содержит исполнительное устройство 48 для изменения поджимающего усилия, создаваемого поджимающим элементом 47 с регулируемым усилием.

Гироскопическое устройство 11, показанное на фиг. 10, включает в себя также датчик 49, предназначенный для измерения перемещения кисти руки пользователя, на которой закреплено гироскопическое устройство 11, например, тремора. В показанном примере, датчик 49 закреплен на корпусе 17. Однако, датчик 49 может располагаться в любом месте в гироскопическом устройстве 11 или может располагаться снаружи корпуса

17, например, непосредственно на кисти или руке пользователя. Датчик 49 предпочтительно является акселерометром, расположенным с возможностью измерения перемещения, например, тремора, кисти руки. Датчик 49 предпочтительно измеряет повороты (тремор) кисти вокруг, по меньшей мере, двух осей, конкретнее, оси 44 кисти руки и оси 46 поперек кисти руки, показанных на фиг. 8. Датчик 49 измеряет одну или более характеристик перемещения кисти 12 руки, например, одну или более характеристик тремора. Например, акселерометр может измерять любой один параметр или более из амплитуды, частоты и/или ускорения тремора, например, тремора кисти руки.

Как показано на фиг. 10, гироскопическое устройство 11 дополнительно включает в себя контроллер 50, который выполнен с возможностью приема сигналов из датчика 49. Контроллер 50 выполнен с возможностью управления исполнительными устройствами 48 поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием по измеренному тремору.

Как показано на фиг. 11, в способе управления гироскопическим устройством 11 контроллер 50 выполнен с возможностью получения сигнала датчика из датчика 49, этап S1. Данный этап может содержать прием данных характеристики перемещения (например, амплитуды, частоты, ускорения тремора) для измеренного перемещения части тела пользователя или может содержать прием необработанного сигнала и определение характеристик(и) перемещения (например, амплитуды, частоты, ускорения тремора).

Контроллер дополнительно выполнен с возможностью определения целевого поджимающего усилия для поджимающего элемента 47 с регулируемым усилием, этап S2. Целевое поджимающее усилие определяется характеристикой(ами) перемещения. Контроллер 50 дополнительно выполнен с возможностью управления исполнительными устройствами 48 поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием, чтобы обеспечить целевое поджимающее усилие, этап S3. Целевое поджимающее усилие может определяться по измеренной(ым) характеристике(ам) перемещения. Контроллер 50 может содержать память, содержащую таблицу целевых поджимающих усилий в зависимости от измеренной(ых) характеристик(и) перемещения. Контроллер 50 может выбирать целевое поджимающее усилие из памяти на основании измеренной(ых) характеристик(и) перемещения и регулировать поджимающие элементы 47 с регулируемым усилием, чтобы обеспечивать целевое поджимающее усилие.

В альтернативных примерах, контроллер 50 управляет исполнительными устройствами 48 поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием в соответствии с пропорциональной зависимостью между измеренной(ыми) характеристикой(ами) перемещения и конфигурацией исполнительного устройства. Пропорциональная зависимость может быть задана в контроллере. Следовательно, контроллер 50 не обязательно должен определять или выбирать фактическое значение целевого поджимающего усилия, при регулировании поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием на основании измеренной(ых) характеристик(и) перемещения.

Таким образом, гироскопическое устройство 11 можно устанавливать на любом

пользователе, и оно будет настраивать работу поджимающих элементов с регулируемым усилием в соответствии с перемещениями пользователя, например, тремором пользователя. Кроме того, такое гироскопическое устройство 11 может эффективно противодействовать тремору пользователя, когда такой тремор изменяется по амплитуде и частоте, что обычно для людей с паркинсоническим и эссенциальным тремором.

Дополнительно или в качестве альтернативы, гироскопическое устройство 11 может содержать датчик (не показанный), выполненный с возможностью измерения поворота узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии. Такой датчик может измерять угол прецессии относительно положения равновесия, в котором узел 23 вращающегося маховика располагается, когда перемещение кисти руки пользователя отсутствует. Например, датчик может содержать датчик углового положения. В других примерах, датчик выполнен с возможностью измерения мощности, отбираемой двигателем 25, в частности, электрического тока, отбираемого двигателем 25. Как обнаружено, когда узел 23 вращающегося маховика поворачивается вокруг оси 34 прецессии, гироскопические силы, прилагаемые к валику двигателя, приводят к повышению мощности, отбираемой для вращения маховика 24. Следовательно, прецессия узла 23 вращающегося маховика может быть измерена путем измерения мощности, отбираемой двигателем 25. В качестве альтернативы или дополнительно, датчик может быть выполнен с возможностью измерения скорости вращения маховика 24. В частности, скорость вращения маховика 24 будет снижаться при прецессии узла 23 вращающегося маховика вследствие воздействия гироскопических сил на двигатель 25, что усиливает трение в двигателе. Датчик может быть выполнен с возможностью измерения фактической скорости вращения маховика 24 и определения погрешности скорости вращения по сравнению со скоростью вращения, с которой двигатель 25 должен вращаться (в зависимости от контроллера). Данная погрешность скорости вращения будет пропорциональной углу прецессии узла 23 вращающегося маховика и потому может применяться для измерения прецессии узла 23 вращающегося маховика.

В данном примере, контроллер 50 может принимать сигнал из датчика и управлять исполнительным устройством 48, чтобы регулировать поджимающее усилие поджимающего элемента 47 с регулируемым усилием по измеренному углу прецессии. Например, если датчик определяет больший угол прецессии, то контроллер 50 может увеличить поджимающее усилие, создаваемое поджимающим элементом 47 с регулируемым усилием. Таким образом, поджимающее усилие, создаваемое поджимающим элементом 47 с регулируемым усилием, можно регулировать на основании величины прецессии узла 23 вращающегося маховика, которая, по меньшей мере, частично, определяется ускорением и величиной любых перемещений кисти руки, а именно, тремора. Следовательно, измерение угла прецессии обеспечивает поджимающее усилие, создаваемое поджимающими элементами 47 с регулируемым усилием, в соответствии с перемещениями пользователя. Кроме того, поджимающими элементами 47 с регулируемым усилием можно управлять для предотвращения ограничения узла 23

вращающегося маховика, т.е. контакта с упором 43, описанным со ссылкой на фиг. 5А и 5В, что может повредить маховик 24 и/или двигатель 25.

Такой способ также показан на фиг. 11, при этом контроллер 50 выполнен с возможностью приема сигнала датчика из датчика 49, этап S1, указывающего угол поворота вокруг оси 34 прецессии.

Контроллер дополнительно выполнен с возможностью определения целевого поджимающего усилия для поджимающего элемента 47 с регулируемым усилием, этап S2, по измеренному углу прецессии. Контроллер 50 дополнительно выполнен с возможностью управления исполнительными устройствами 48 поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием, чтобы обеспечивать целевое поджимающее усилие, этап S3. Контроллер 50 может содержать память, содержащую таблицу целевых поджимающих усилий в зависимости от измеренного угла прецессии. Контроллер 50 может выбирать целевое поджимающее усилие из памяти на основании измеренного угла прецессии и регулировать поджимающие элементы 47 с регулируемым усилием, чтобы обеспечивать целевое поджимающее усилие.

В альтернативных примерах, контроллер 50 управляет исполнительными устройствами 48 поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием в соответствии с пропорциональной зависимостью между измеренным углом прецессии и конфигурацией исполнительного устройства. Пропорциональная зависимость может быть задана в контроллере. Следовательно, контроллер 50 не обязательно должен определять или выбирать фактическое значение целевого поджимающего усилия, при регулировании поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием на основании измеренного угла прецессии.

Как изложено выше, усилие, создаваемое гироскопическим устройством 11, чтобы стабилизировать тремор пользователя, определяется, главным образом, вращательным моментом, развиваемым вращающимся маховиком 24, и сдвигающим крутящим моментом, прикладываемым к маховику 24 тремором пользователя (т.е. прецессией). Следовательно, гироскопическое устройство 11 будет развивать более значительную противодействующую силу, сопротивляющуюся гироскопической силе, в ответ на более сильный тремор (и наоборот), даже если скорость вращения маховика 24 является постоянной.

Хотя величина гироскопической силы, развиваемой маховиком 24, определяется, по сути, степенью выраженности тремора (т.е. сдвигающего крутящего момента, прикладываемого к маховику 24 вокруг оси 34 прецессии), однако, как описано ниже, гироскопическое устройство 11, дополнительно или в качестве альтернативы, может быть выполнено с возможностью управления скоростью вращения маховика 24, чтобы управлять вращательным моментом, развиваемым гироскопическим устройством 11. Таким образом, диапазон усилий, развиваемых гироскопическим устройством 11, можно подстроить под конкретного пользователя с конкретными характеристиками перемещения, например, характеристикой тремора.

Вращательный момент зависит от инерции и скорости вращения маховика 24. Инерция зависит от массы и диаметра маховика 24, в том числе, от того, как масса распределена по радиусу маховика 24.

Гироскопическое устройство 11 для использования на части тела пользователя, например, кисти руки, предпочтительно имеет размеры и вес, которые не препятствуют произвольным перемещениям части тела и позволяют пользователю удобно носить гироскопическое устройство 11, например, как показано на фиг. 1.

В частности, для применения на кисти руки пользователя, гироскопическое устройство 11 имеет, предпочтительно, максимальный вес около 1 кг и максимальный размер около 80 мм в поперечнике гироскопического устройства 11. В показанных примерах корпус 17 гироскопического устройства 11 является цилиндрическим для размещения цилиндрического маховика 24. Следовательно, в примерах, максимальный диаметр корпуса 17, предпочтительно равен, приблизительно, 80 мм. В предпочтительном варианте, для применения на кисти руки пользователя, максимальный вес гироскопического устройства 11 приблизительно равен 0,5 кг, и максимальный диаметр гироскопического устройства 11 приблизительно равен 60 мм. Такое гироскопическое устройство 11 является удобным для ношения пользователем на кисти 12 руки, как показано на фиг. 1.

Следует понимать, что гироскопическое устройство 11 для применения на других частях тела может быть больше и тяжелее. Например, для применения на руке или бедре пользователя, максимальный вес гироскопического устройства 11 может быть около 2 кг, предпочтительнее около 1 кг, и максимальный диаметр может быть около 180 мм, приблизительно, от 100 мм до 150 мм. Более сильные и тяжелые части конечностей, например, руки или бедра, будут требовать более значительных гироскопических сил для стабилизации более сильного тремора, и поэтому маховики 24 для применения на данных частях тела предпочтительно являются более тяжелыми, например, до 1 кг, и более крупными, например, до приблизительно 160 мм.

При соблюдении вышеописанных ограничений по размеру и весу, гироскопическое устройство 11, которое предназначено для ношения на пользователе, может быть адаптировано с учетом потребности конкретного пользователя посредством выбора маховика 24, который, при заданной скорости вращения маховика 24, обеспечивает подходящее значение усилия для стабилизации тремора в части тела, на которой закреплено гироскопическое устройство 11. Усилие, развиваемое гироскопическим устройством 11, является компромиссным между обеспечением достаточного усилия для стабилизации тремором, при сохраняемом допуске произвольных перемещений части тела, и обеспечением гироскопического устройства 11, которое удобно для ношения пользователем.

Авторы изобретения выяснили, что некоторые диапазоны вращательного момента являются особенно эффективными при стабилизации тремора кисти руки в случае гироскопического устройства 11 для применения на кисти руки пользователя. В

частности, как видно из результатов испытаний, представленных на фиг. 13, авторы изобретения доказали, что вращательный момент в диапазоне, приблизительно, от 0,05 кгм²/с до 0,30 кгм²/с, конкретнее, в диапазоне, приблизительно, от 0,08 кгм²/с до 0,2 кгм²/с, обеспечивает эффективную стабилизацию тремора кисти руки для различных пользователей, при том, что еще позволяет пользователям совершать произвольные перемещения кистью руки с целью выполнения задач.

В частности, испытания показали, что, для большинства пользователей, вращательный момент в диапазоне от 0,05 кгм²/с до 0,30 кгм²/с обеспечивал наиболее эффективную стабилизацию тремора кисти руки, без препятствия произвольным перемещениям кисти руки. Вращательный момент ниже данного диапазона оказался неэффективным при стабилизации тремора кисти руки, а вращательный момент выше данного диапазона приводил к сдерживанию произвольных перемещений кисти руки, создавал гироскопические силы, которые были слишком большими, в результате чего пользователю сообщался дополнительный тремор, и/или гироскопическое устройство 11 становилось слишком тяжелым и большим для ношения на кисти руки пользователя.

Нижеописанные испытания проводились всего на 46 субъектах. Среди субъектов, 14 субъектам был поставлен диагноз болезни Паркинсона, и 32 субъектам был поставлен диагноз эссенциальный тремор. Все испытания проводились на одной и той же кисти руки для каждого субъекта, обычно, но не исключительно, на кисти доминирующей руки субъекта. Все субъекты были старше 18 лет.

Субъектов оснащали пятью разными гироскопическими устройствами, носимыми на кисти руки пользователя. Подробные характеристики маховика каждого из разных гироскопических устройств приведены в нижеследующей таблице.

	Маховик 1	Маховик 2	Маховик 3	Маховик 4	Маховик 5
Масса маховика (кг)	0,0047	0,195	0,152	0,195	0,152
Диаметр маховика (мм)	14	52	51	52	51
Инерция маховика (кгм ²)	1,0×10 ⁻⁶	6,7×10 ⁻⁵	5,9×10 ⁻⁵	6,7×10 ⁻⁵	5,9×10 ⁻⁵
Скорость вращения (об/мин)	14000	12000	14000	24000	28000
Вращательный момент (кгм ² /с)	0,002	0,084	0,086	0,168	0,173

Таблица 1 - Технические характеристики маховиков для испытаний

Во время испытаний, на кисти руки каждого субъекта закрепляли блок инерциальных измерений. Блоком инерциальных измерений был 9-осный датчик абсолютной ориентации типа Bosch BNO055. Блок инерциальных измерений размещали для измерения эйлеровых углов кисти руки относительно трех осей (x, y, z), скорость поворота кисти руки вокруг трех осей (x, y, z), и линейное ускорение кисти руки в

направлении трех осей (x, y, z).

Во время испытаний, данные, выдаваемые блоком инерциальных измерений, использовались для определения средней амплитуды поворотного тремора кисти руки посредством объединения данных об эйлеровых углах для всех трех осей в виде векторной суммы и затем вычисления средней амплитуды поворотного тремора кисти руки.

Субъектов просили выполнять два действия, как описано ниже:

Испытание объемного типа: субъектов просили держать 100-мл мерный стакан (наполненный) водой над ванной, в сидячем положении, с рукой без поддержки, в течение 60 секунд. Данное действие повторяли 5 раз в течение каждого испытания.

Испытание типа приема пищи: субъектов просили подносить полную ложку соевых бобов из первой чаши (наполненной на 75%) во вторую чашу (первоначально пустую), расположенную на расстоянии одного диаметра чаши от первой чаши. Данное действие повторяли 5 раз в течение каждого испытания.

Для каждого гироскопического устройства, каждого субъекта сначала просили выполнить действие, при выключенном гироскопическом устройстве (т.е. без вращения маховика). Исходную среднюю амплитуду поворотного тремора кисти руки определяли для каждого гироскопического устройства. Затем, для каждого гироскопического устройства, каждого субъекта просили выполнить вышеописанные действия с включенным гироскопическим устройством (т.е. с вращающимся маховиком), и измеряли среднюю амплитуду поворотного тремора кисти руки.

На фиг. 13 показано, для каждого из пяти гироскопических устройств, подробно описанных выше, среднее уменьшение амплитуды поворотного тремора кисти руки (в градусах). Конкретнее, на фиг. 13 показана средняя разность амплитуды тремора кисти руки между исходной средней амплитудой поворотного тремора кисти руки для каждого гироскопического устройства и средней амплитудой тремора кисти руки во время действий с включенными гироскопическими устройствами. Средние значения вычисляли для всех проведенных испытаний, т.е. для всех испытуемых субъектов и для всех действий объемного типа и типа приема пищи.

Как видно из результатов испытаний, приведенных на фиг. 13, маховик 1, с вращательным моментом $0,002 \text{ кгм}^2/\text{с}$ вызывал увеличение средней амплитуды тремора (в градусах). Такое увеличение связано с наличием груза, закрепленного на кисти руки испытуемого субъекта, что затрудняло субъекту задачу придавать устойчивость кисти своей руки, а маховик обеспечивал очень слабую гироскопическую силу и поэтому обеспечивал лишь минимальную стабилизацию тремора. Было установлено, что для демонстрации уменьшения средней амплитуды тремора требовался вращательный момент, по меньшей мере, около $0,05 \text{ кгм}^2/\text{с}$.

Маховики 2, 3 и 4 продемонстрировали эффективную стабилизацию тремора, а маховик 5 уменьшал величину тремора меньше, чем маховики 2, 3 и 4. Было установлено, что вращательный момент более, чем приблизительно $0,30 \text{ кгм}^2/\text{с}$, почти не приводил к

уменьшению тремора потому, что действие гироскопических сил было, по видимому, слишком сильным для управления испытуемыми субъектами, что приводило к дополнительному тремору, вызываемому гироскопическим устройством 11. Кроме того, было установлено, что вращательный момент более, чем приблизительно $0,30 \text{ кгм}^2/\text{с}$ имел склонность сдерживать произвольные перемещения испытуемых субъектов, из чего следует, что испытуемые субъекты должны были с большим трудом выполнять задачи, что, в свою очередь, снижало эффективность стабилизации тремора.

Следовательно, результаты испытаний доказали эффективность гироскопического устройства при стабилизации тремора кистей рук пользователей, а также показали, что вращательный момент можно настраивать или регулировать для обеспечения эффективной стабилизации тремора.

В частности, результаты испытаний указывают на предпочтительный диапазон вращательного момента для стабилизации тремора кисти руки от приблизительно $0,05 \text{ кгм}^2/\text{с}$ до приблизительно $0,30 \text{ кгм}^2/\text{с}$, конкретнее, приблизительно от $0,08 \text{ кгм}^2/\text{с}$ до $0,20 \text{ кгм}^2/\text{с}$. Было показано, что такой диапазон обеспечивает эффективную стабилизацию тремора кисти руки, и при этом еще позволяет субъектам производить произвольные перемещения кисти руки, чтобы выполнять задачи.

В частности, авторы изобретения обнаружили, что гироскопическое устройство 11, содержащее маховик, имеющий массу около $0,150$ килограмм и диаметр около 50 миллиметров, с инерцией приблизительно $6 \times 10^{-5} \text{ кгм}^2$, можно приводить в действие со скоростями вращения от 8000 об/мин до 50000 об/мин, чтобы обеспечивать вращательный момент в диапазоне, приблизительно, от $0,05 \text{ кгм}^2/\text{с}$ до $0,30 \text{ кгм}^2/\text{с}$, который может обеспечивать стабилизацию тремора в широком диапазоне изменения тремора в кисти руки пользователя. Такое гироскопическое устройство 11 будет также эффективно стабилизировать тремор в других частях тела, которые проявляют подобный тремор, например, в предплечье пользователя. Следовательно, гироскопическое устройство 11, содержащее такой маховик, можно применять на многих разных пользователях, и скорость вращения маховика можно настраивать для каждого пользователя, чтобы обеспечивать подходящий вращательный момент в диапазоне, приблизительно от $0,05 \text{ кгм}^2/\text{с}$ до приблизительно $0,30 \text{ кгм}^2/\text{с}$.

Авторы изобретения установили, что, для других частей тела, например, рук, бедер, шеи, спины, головы, требуется более значительный вращательный момент из-за большей мышечной силы в данных зонах (приводящей более сильному тремору) и большей массы части тела, проявляющей тремор.

В некоторых примерах, контроллер 50, показанный на фиг. 10, дополнительно или в качестве альтернативы выполнен с возможностью управления двигателем 25 и скоростью вращения маховика 24. Следовательно, контроллер 50 может быть выполнен с возможностью управления вращательным моментом маховика 24 и гироскопической силой, создаваемой для стабилизации тремора. В данных примерах, контроллер 50 может быть настраиваемым при настройке гироскопического устройства 11 для пользователя,

чтобы обеспечивать подходящий вращательный момент, и/или контроллер 50 может быть выполнен с возможностью динамического регулирования скорости вращения маховика 24 на основании характеристики или характеристик тремора, измеренной(ых) датчиком 49. Регулирование скорости вращения маховика 24 может обеспечиваться в гироскопическом устройстве 11, которое включает в себя пассивные поджимающие элементы, например, пружины 35, описанные со ссылкой на фиг. 3А-5, 7 или 9А и 9В, или поджимающие элементы с регулируемым усилием, ранее описанные со ссылкой на фиг. 10.

Например, как показано в способе управления гироскопическим устройством 11, представленным на фиг. 12, контроллер 50 может быть выполнен с возможностью приема сигнала датчика из датчика 49, этап S4. Датчик 49 может быть выполнен с возможностью измерения характеристики перемещения кисти руки пользователя, например, характеристики тремора, или угла прецессии, как описано со ссылкой на фиг. 10 и 11.

Контроллер дополнительно выполнен с возможностью определения целевого вращательного момента и/или целевой скорости вращения для маховика 24, этап S5. Целевой вращательный момент и/или целевая скорость вращения определяются по сигналам датчика, например, характеристике(ам) перемещения и/или углу прецессии. Контроллер 50 дополнительно выполнен с возможностью управления двигателем 25, чтобы обеспечивать вращательный момент и/или целевую скорость вращения, этап S6.

Целевой вращательный момент и/или целевую скорость вращения можно определять на основании измеренных характеристик(и) перемещения и/или угла прецессии. Контроллер 50 может содержать память, содержащую таблицу целевых вращательных моментов и/или целевых скоростей вращения в зависимости от измеренных характеристик(и) перемещения и/или угла прецессии. Контроллер 50 может выбрать целевой вращательный момент и/или целевую скорость вращения из памяти на основании измеренных характеристик(и) перемещения и/или угла прецессии и управлять двигателем 25, чтобы обеспечивать вращательный момент и/или целевую скорость вращения. В некоторых примерах, память содержит скорости вращения маховиков, сопоставленные с одной(им) или более характеристиками перемещения и/или углами прецессии, и контроллер 50 выбирает целевую скорость вращения маховика на основании измеренных характеристик(и) перемещения и/или угла прецессии. В других примерах, память содержит целевые вращательные моменты, сопоставленные с одной(им) или более характеристиками перемещения и/или углами прецессии, и контроллер 50 выбирает целевой вращательный момент на основании измеренных характеристик(и) перемещения и/или угла прецессии и затем определяет целевую скорость вращения маховика 24, которая соответствует данному целевому вращательному моменту. Таким образом, одни и те же записанные в памяти элементы (т.е. целевые вращательные моменты) можно использовать для разных маховиков 24, т.е. маховиков 24, имеющих разные массы и/или радиальное распределение массы (момент инерции).

В альтернативных примерах, контроллер 50 управляет двигателем 25 в соответствии с пропорциональной зависимостью между измеренной(ыми)

характеристикой(ами) перемещения и мощностью и/или скоростью двигателя 25. Пропорциональная зависимость может быть задана в контроллере. Следовательно, контроллер 50 не обязательно должен определять или выбирать фактическое значение целевого вращательного момента или значение скорости вращения, при управлении двигателем 25 на основании измеренной(ых) характеристик(и) перемещения.

Таким образом, гироскопическое устройство 11 может быть установлено на любом пользователе и будет настраивать двигатель 25, чтобы обеспечивать подходящий вращательный момент для перемещений пользователя, в частности, тремора пользователя. Кроме того, такое гироскопическое устройство 11 может эффективно противодействовать перемещениям пользователя, в частности, тремору, когда данный тремор изменяется во амплитуде и частоте, что обычно для людей с паркинсоническим и эссенциальным тремором. Более того, благодаря динамическому регулированию скорости вращения маховика 24, гироскопическое устройство 11 может экономить энергию и увеличивать продолжительность срока эксплуатации гироскопического устройства 11 посредством выключения двигателя 25, когда пользователь не проявляет тремор.

В предпочтительных примерах, контроллер 50 выполнен с возможностью регулирования одного или более поджимающих элементов 47 с регулируемым усилием, чтобы обеспечивать целевое поджимающее усилие для прецессии, как описано со ссылкой на фиг. 11, и контроллер выполнен также с возможностью управления скоростью вращения маховика 24, что обеспечивать целевые вращательный момент и/или скорость вращения маховика, как описано со ссылкой на фиг. 12. В данном примере осуществляется динамическое управление гироскопическим устройством 11, чтобы управлять вращательным моментом и силой прецессии маховика на основании характеристик(и) перемещения и/или угла прецессии, измеренных датчиком 49 или датчиками.

На фиг. 14А-15 показаны примеры маховика 24 для применения в гироскопическом устройстве 11. На фиг. 14А отдельно показан маховик 24, и на фиг. 14В представлено поперечное сечение узла 23 вращающегося маховика, включающего в себя маховик 24. Маховик является, в общем, цилиндрическим относительно оси вращения маховика 38. Как показано, маховик 24 содержит центральный дисковый участок 57 содержащий отверстие 58 для закрепления на валике 29 двигателя. Центральный дисковый участок 57 является, в общем, плоским и относительно тонким. Маховик 24 содержит также окружную кромку 59, продолжающуюся от окружной кромки центрального дискового участка 57 в аксиальном направлении оси 38 вращения маховика.

Маховик 24 имеет профиль, который обеспечивает распределение массы, главным образом, на наружной окружной кромке маховика 24, т.е. в окружной кромке. То есть, окружная кромка 59 содержит большую часть общей массы маховика 24.

В предпочтительных примерах, окружная кромка 59 содержит, по меньшей мере, 50% от общей массы маховика 21, предпочтительно, по меньшей мере, 60% от общей массы маховика 24, предпочтительнее, по меньшей мере, 75% от общей массы маховика

24. Конфигурация окружной кромки 59 концентрирует массу в окружной кромке маховика 24, как показано, что обеспечивает маховик 24 с более значительным вращательным моментом, который может развивать требуемый вращательный момент, при одновременном ограничении общей массы маховика 24.

Поскольку масса и диаметр маховика 24 определяют момент инерции и вращательный момент маховика 24, а также наружные размеры гироскопического устройства 11, то предпочтительно, чтобы масса и диаметр маховика 24 подходили для гироскопического устройства 11 для закрепления на части тела пользователя, например, кисти руки пользователя. Следовательно, в случае гироскопического устройства 11 для применения на кисти руки пользователя, масса маховика 24 предпочтительно имеет значение в диапазоне от приблизительно 0,05 кг до приблизительно 0,5 кг, предпочтительнее, приблизительно от 0,1 кг до 0,2 кг. В предпочтительном исполнении, диаметр маховика 24 имеет значение меньше, чем приблизительно 150 мм, предпочтительно меньше, чем приблизительно 100 мм, предпочтительно меньше, чем приблизительно 80 мм, и предпочтительно равен приблизительно 50 мм.

В случае гироскопического устройства 11 для применения на другой части тела, например, руке или бедре, требуется больший вращательный момент, и пользователь может носить более тяжелое гироскопическое устройство 11. В таких случаях применения, маховик может иметь массу до приблизительно 2 кг, предпочтительнее, до приблизительно 1 кг, предпочтительнее, менее, чем приблизительно 0,5 кг, или от 0,2 кг до 0,5 кг. Аналогично, гироскопическое устройство 11 для руки или бедра может быть больше, и поэтому диаметр маховика 24 может достигать приблизительно 200 мм, предпочтительнее, приблизительно 150 мм.

Авторы изобретения установили, что, при соблюдении вышеописанных ограничений по массе и диаметру, маховик с, по меньшей мере, 75% от массы в окружной кромке 59 может обеспечивать требуемый диапазон вращательного момента, при скоростях вращения, изменяющихся приблизительно от 5000 об/мин до 70000 об/мин, предпочтительнее, приблизительно от 10000 об/мин до 30000 об/ми, предпочтительнее, приблизительно от 15000 об/мин до 30000 об/мин.

Кроме того, окружная кромка 59 маховика 24 обеспечивает заглублиение 60 на одной стороне маховика 24., как показано на фиг. 14В, и, в предпочтительных примерах, карданный подвес 26 и двигатель 25 вставляются, по меньшей мере, частично, в заглублиение 60 маховика 24. Данное решение эффективно обеспечивает узел 23 вращающегося маховика, имеющий низкий профиль, и помогает сохранять центр масс узла 23 вращающегося маховика и гироскопического устройства 11 ближе к поверхности части тела пользователя, при использовании. Данное решение успешно ослабляет любые влияния веса гироскопического устройства 11, такие как крутящий момент, создаваемый весом гироскопического устройства 11, когда кисть руки поворачивают.

Как показано на фиг. 14В, карданный подвес 26 имеет форму чаши, с крепежным участком 30 двигателя, расположенным в заглублиении 60 между маховиком 24 и

двигателем 25. Данное решение обеспечивает установочное положение двигателя 25, которое вложено в заглублиение 60, Двигатель 25 является низкопрофильным двигателем 25, как описано далее в настоящей заявке, выполненным с возможностью установки, по существу, внутри заглублиения 60 маховика 24. Таким образом, корпус 17 может точно согласоваться с размером маховика 24, что минимизирует общие размеры гироскопического устройства 11.

В примере, показанном на фиг. 16, маховик 24 имеет более низкий профиль, с более равномерным радиальным распределением массы, чем маховик, показанный на фиг. 14А-15, и с меньшей долей массы, находящейся на окружной кромке. При одинаковых всех остальных факторах, маховик, показанный на фиг. 16, имеет меньшую инерцию и будет развивать сравнительно малый вращательный момент и, следовательно, сравнительно слабые гироскопические силы, при заданной скорости вращения. Такой маховик можно применять для пользователей с более слабым тремором, или когда следует минимизировать общий вес гироскопического устройства, например, для детей или пожилых людей. Маховик 24 в приведенном примере может вращаться с более высокими скоростями, чтобы обеспечивать такой же вращательный момент, как другие маховики, при сниженном общем весе. Поскольку вращательный момент является основным определяющим фактором для величины гироскопических сил, такое облегченное устройство можно применять для стабилизации тремора, с одновременным сохранением малого веса гироскопического устройства 11.

Кроме того, как показано на фиг. 3А, 3В, 4, 7, 10, в предпочтительной схеме расположения, маховик 24 располагается рядом со стороной 21 корпуса 17, которая располагается вплотную или ближе всего к части тела пользователя, при использовании. В данной схеме расположения, карданный подвес 26 и двигатель 25 располагаются на стороне маховика 24, противоположной части тела пользователя. Такая схема расположения выгодна потому, что маховик 24 является самой тяжелой частью гироскопического устройства 11, и поэтому размещение маховика 24 ближе к части тела пользователя ограничивает крутящий момент, создаваемый весом гироскопического устройства 11 и действующий на часть тела пользователя, что делает гироскопическое устройство 11 более удобным для ношения. Кроме того, гироскопические силы гироскопического устройства 11 действуют эффективнее, когда они находятся ближе к оси перемещения при треморе, т.е. ближе к части тела. Следовательно, такая схема расположения обеспечивает гироскопическое устройство 11, которое является более удобным для ношения пользователем, а также более эффективным при стабилизации тремора.

В некоторых примерах, как показано на фиг. 15, поверхность 60 маховика 24, противоположная заглублиению 60, является наклонной, чтобы допускать поворот узла 23 вращающегося маховика вокруг оси 34 прецессии. А именно, угол поверхности 60 может согласоваться с углом максимального поворота вокруг оси 34 прецессии. Это позволяет маховику 24 располагаться ближе к стороне 21 корпуса 17, что обеспечивает

низкопрофильное гироскопическое устройство 11, и центр массы гироскопического устройства 11 находится ближе к части тела пользователя.

В других примерах, показанных на фиг. 3А, 3В, 4, 7, 10, 14А, 14В, поверхность 60 маховика 24, которая противоположна заглоблению 60, является планарной, т.е. плоской, или выпуклой, как показано на фиг. 15. Как поясняется далее в настоящем документе, такой маховик 24 выгоден при изготовлении, т.е. обработке резанием, сбалансированного маховика 24.

В предпочтительных примерах, двигатель 25 является электродвигателем, например, бесщеточным электродвигателем постоянного тока. Бесщеточный электродвигатель постоянного тока предпочтительнее, чем щеточный электродвигатель, так как он будет образовывать меньше пыли и другого материала, который может мешать работе гироскопического устройства 11, например, при накоплении в подшипниках или на маховике 24. Как описано со ссылкой на фиг. 3А и 3В, двигатель 25 содержит статор 27 и ротор 28.

В предпочтительных примерах, корпус двигателя, за исключением валика 29 двигателя, имеет аспектное отношение (отношение размера в аксиальном направлении оси 38 вращения к размеру в радиальном направлении) не превышает приблизительно 1, предпочтительно, приблизительно равен 0,5. Это обеспечивает низкопрофильный двигатель 25, который может вставляться в заглобление 60 маховика 24, как показано.

В предпочтительных примерах, ротор 28 двигателя 25 содержит ротор с диаметрально поляризованными постоянными магнитами. Такой ротор 28 обеспечивает низкопрофильный двигатель 25.

В предпочтительных примерах, двигатель 25 содержит беспазовые и/или бессердечниковые обмотки, что обеспечивает компактный и низкопрофильный двигатель 25.

В предпочтительном примере, двигатель 25 содержит аксиальную конфигурацию потока, что обеспечивает компактный и низкопрофильный двигатель 25, который может плотнее вкладываться в заглобление 60 маховика 24, как показано.

В других примерах, двигатель 25 заменен альтернативным первичным двигателем, выполненным с возможностью вращения маховика 24. Например, первичный двигатель может содержать пневматический двигатель, приводимый в действие сжатым воздухом, подаваемым из компрессора. Компрессор может быть носимым на теле пользователя или может входить в состав внешнего источника. Например, если устройство для стабилизации тремора применялось бы на рабочем месте (например, на производстве), чтобы поддерживать пользователя, то сжатый воздух может подаваться из внешнего компрессора по шлангу. В случае портативного устройства для стабилизации тремора (т.е. носимого пользователем везде, где бы он ни был), первичный двигатель предпочтительно является электродвигателем.

В некоторых примерах, первичный двигатель, в частности электродвигатель 25, объединен с маховиком 24. В данных примерах, как показано на фиг. 17, маховик 24

содержит множество постоянных магнитов 91 с чередующейся полярностью, смонтированных по внутренней поверхности. Статор 92 обеспечен внутри внутренней окружности маховика 24 и включает в себя обмотки 93 возбуждения переменным током. В данной конструкции, маховик 24 служит ротором двигателя и приводится во вращение посредством соответствующего изменения знака полярности обмоток 93 обычным способом. Такая схема расположения обеспечивает более легкий и компактный узел вращающегося маховика.

В других примерах гироскопического устройства 11, первичный двигатель, в частности двигатель 25, не соединен напрямую с маховиком 24. Как показано на фиг. 18А и 18В, которые представляют взаимно перпендикулярные сечения гироскопического устройства 11, между двигателем 25 и маховиком 24 предусмотрен передаточный элемент 94 для передачи маховику 24 вращения от двигателя 25.

В данном примере, двигатель 25 жестко соединен с корпусом 17, и передаточный элемент 94 содержит гибкий или шарнирный валик 95, который приспособляется к прецессии маховика 24 вокруг оси 34 прецессии, относительно двигателя 25. Такая схема расположения обеспечивает полезное решение, при котором нет необходимости устанавливать двигатель 25 с возможностью поворота вокруг оси 34 прецессии, что усиливает отклик прецессии маховика 24 на тремор с меньшими амплитудой/ускорением, так как масса узла 23 вращающегося маховика уменьшается. Кроме того, электрическое соединение с двигателем 25 упрощается, так как двигатель 25 не перемещается относительно корпуса 17.

Как показано, шарнирный валик 95 продолжается от двигателя 25 до маховика 24, и шарнирный валик 95 может изгибаться в плоскости поворота вокруг оси 34 прецессии (в плоскости страницы, показанной на фиг. 18В). Карданный подвес 26 шарнирно установлен на корпусе 17 в посадочных местах 33 таким же образом, как описано со ссылкой на фиг. 3А и 3В, чтобы задавать ось 34 прецессии. Шарнирный валик 95 установлен с возможностью вращения на карданном подвесе 26 в подшипнике 96 таким образом, что карданный подвес 26 и маховик 24 подвешены на шарнирном валике 95. Шарнирный валик 95 может изгибаться в положении между карданным подвесом 26 и двигателем 25. Следовательно, шарнирный валик 95 допускает прецессию карданного подвеса 26 и маховика 24 вокруг оси 34 прецессии. Карданный подвес 26 и поджимающие элементы функционируют таким же образом, как в предыдущих примерах, в частности, примерах, показанных на фиг. 3А и 3В.

В некоторых примерах, передаточный элемент 94 может дополнительно содержать муфту 97, расположенную между двигателем 25 и маховиком 24 и выполненную с возможностью расцепления вращательного соединения между двигателем 25 и маховиком 24. Это предоставляет маховику 24 полезную возможность вращаться свободно от двигателя 25, когда муфта 97 расцепляется. Муфтой 97 можно управлять для расцепления, когда пользователь не проявляет тремора, или когда пользователь не выполняет задачи. Кроме того, муфта 97 может быть выполнена с возможностью расцепления, когда

гироскопическое устройство 11 убирается или роняется, для защиты двигателя 25 от воздействий сил, создаваемых моментом маховика 24 в таком случае.

На фиг. 19 схематически изображено примерное расположение двигателя 25 и маховика 24. В данном примере, статор 27 двигателя 25 установлен на карданном подвесе 26. Карданный подвес 26 содержит отверстие или углубление 61, в котором располагается статор 27, и углубление 61 содержит множество пазов 62, сформированных во внутренней поверхности углубления 61, примыкающей к статору 27. Пазы являются, предпочтительно, дугообразными. Как показано, в данном примере углубление 61 содержит четыре паза 62, распределенных вокруг углубления 61, предпочтительно, равномерно распределенных. В других примерах, углубление 61 может содержать больше или меньше пазов, например, два, три или шесть пазов 62. Статор 27 двигателя 25 содержит радиальные лапки 63, которые продолжаются от наружной окружной поверхности статора 27 и выступают в паза 62. Ротор 28 двигателя 25 выполнен с возможностью вращения маховика 24 в направлении стрелки 64. Пружина 65 располагается между каждой радиальной лапкой 63 и боковой стороной соответствующего паза 62, со стороны радиальной лапки 63, которая противоположна направлению 64 вращения. Таким образом, пружины 65 выполнены с возможностью ослабления инерционной силы, передаваемой статору 27, когда электродвигатель 25 начинает вращать маховик 24, т.е., когда крутящий момент двигателя 25 является максимальным. В предпочтительном варианте, для вышеописанного гироскопического устройства 11, маховик 24 является высокоинерционным, и электродвигатель 25 является компактным и маломощным. Расположение радиальных лапок 63 и пружин 65, показанное на фиг. 19, ослабляет передачу момента инерции от маховика 24 на карданный подвес 26 (и, следовательно, корпус 17 гироскопического устройства 11) при запуске вращения маховика 24, когда крутящий момент является максимальным. Это делает гироскопическое устройство 11 более удобным для ношения на теле пользователя, когда гироскопическое устройство 11 запускается.

В других примерах, паза 62 сформированы в корпусе двигателя, который, по меньшей мере, частично охватывает статор 27, и корпус, в свою очередь, установлен на карданном подвесе 26.

На фиг. 20 представлена схема 66 управления электродвигателем для двигателя 25 гироскопического устройства 11. Схема 66 управления электродвигателем может обеспечиваться контроллером 60, описанным со ссылкой на любую из фиг. 10, 11 и 12. Схема 66 управления электродвигателем содержит блок 68 питания для трех обмоток 67 двигателя 25. Каждый блок 68 питания содержит переключатель 69, управляемый контроллером 60 для переключения между конфигурацией привода, в которой питание подается из источника 71 питания, например, батарейки, в обмотку 67, чтобы приводить в движение двигатель 25, и конфигурацией торможения, в которой обмотка 67 закорачивается на землю 70. Чтобы затормозить двигатель 25 для замедления или остановки вращения двигателя 25 и маховика 24, контроллер 50 переключает все

переключатели 69 в состояние закорачивания обмоток 67 на землю 70. В данной конфигурации, электромагнитные эффекты, вызываемые в двигателе, приводят к торможению двигателя 25 и маховика 24. Это может быстрее останавливать вращение маховика 24, с ослаблением при этом крутящего момента, ощущаемого пользователем.

В предпочтительных примерах, контроллер 50 выполнен с возможностью торможения двигателя 25 в импульсном режиме посредством последовательного переключения между конфигурацией переключателей 69 на нулевом уровне мощности и конфигурацией с заземлением переключателей 69. Импульсное включение эффекта торможения двигателя 25 ослабляет противодействующие крутящие моменты, создаваемые и воспринимаемые пользователем, носящим гироскопическое устройство 11.

В конфигурации, показанной на фиг. 20, двигатель 25 имеет три обмотки 67, но, следует понимать, что двигатель 25 может иметь больше обмоток, например, четыре обмотки 67, пять или больше обмоток 67.

На фиг. 21 показан узел 23 вращающегося маховика для гироскопического устройства 11, включающего в себя маховик 24. В частности, на фиг. 21 показан узел 23 вращающегося маховика гироскопического устройства, показанного на фиг. 3А и 3В. В предпочтительном исполнении, маховик 24 хорошо сбалансирован для ослабления вибраций и шума, создаваемых при вращении маховика 24 с высокими скоростями во время работы гироскопического устройства 11. Это особенно выгодно, так как гироскопическое устройство 11 является носимым на теле пользователя, например, на кисти руки, во время ежедневной деятельности, когда создание вибраций и шума нежелательно. Хорошо сбалансированный маховик 24 будет также увеличивать срок эксплуатации двигателя 25 и любых подшипников или других креплений (например, шарнира) в гироскопическом устройстве 11. Защита подшипников или увеличение срока их службы обеспечивает более надежное и долгодействующее гироскопическое устройство.

Как показано на фиг. 21 и описано ранее, маховик 24 предпочтительно содержит плоскую поверхность 78 и заглабление 60 со стороны маховика 24, противоположной плоской поверхности 78. Как описано ниже со ссылкой на фиг. 23, маховик 24 балансируют в двух плоскостях 79.

Как показано на фиг. 21 и других примерах, описанных ранее, маховик 24 установлен на валике 29 электродвигателя. В данных примерах, маховик 24 установлен только на валике 29 электродвигателя, который обеспечивает вращение маховика 24 с низким коэффициентом трения. В дополнительном примере, показанном на фиг. 22, подшипник 100 обеспечен между маховиком 24 и карданным подвесом 26. Подшипник 100 располагается между внутренней окружной поверхностью 101 маховика 24, внутри заглабления 60, и карданным подвесом 26. Подшипник 100 может быть подшипником с элементами качения, например, шариковым подшипником или цилиндрическим роликовым подшипником, или может быть вкладышем.

Подшипник 100 обеспечивает опору для маховика 24 и помогает ослабить

передачу невращательных усилий между маховиком 24 и двигателем 25. Например, если гироскопическое устройство 11 упадет, то ударный импульс, создаваемый маховиком 24, не будет полностью передаваться валу 29 двигателя, так как некоторая его часть будет передаваться на карданный подвес 26 через подшипник 100, что способствует защите двигателя 25 от ударных сил.

Дополнительно или в качестве альтернативы, как показано на фиг. 22, между маховиком 24 и валом 29 электродвигателя может быть предусмотрена резиновая вставка 102. Это также помогает ослабить передачу невращательных усилий между двигателем 25 и маховиком 24, чтобы способствовать защите двигателя 25 от ударных сил. Резиновая вставка 102 является, предпочтительно, тонкой и жесткой, и поэтому передача крутящего момента для вращения маховика 24 ослабляется несущественно.

На фиг. 23 представлен способ изготовления маховика 24 для гироскопического устройства 11 устройства для стабилизации тремора. Маховик 24 предпочтительно изготовлен из металла, например, латуни, и изготовлен из цилиндрической заготовки.

Процесс изготовления содержит первый этап 72 обработки резанием формы маховика 24 на токарном станке, из цилиндрической заготовки. Во время обработки 72 резанием применяется токарный станок для точения внешней окружной поверхности 77 маховика 24, верхней поверхности 80 маховика 24, заглабления 60 и отверстия 58 для крепления двигателя в направлении от верхней поверхности 80. То есть, вышеупомянутые поверхности и элементы маховика 24 обрабатывают резанием от конца цилиндрической заготовки, выступающего из патрона токарного станка.

На втором этапе 73 процесса, маховик 24 отрезают от цилиндрической заготовки посредством отрезания поверхности 78, перпендикулярной оси вращения токарного станка, чтобы отделить маховик от цилиндрической заготовки. Такое отрезание поверхности 78, чтобы она стала плоской или выпуклой означает, что маховик 24 можно полностью изготовить резанием за одну операцию зажима, без необходимости повторного зажима маховика 24 на токарном станке, что может привести к возникновению эксцентриситета.

Посредством обработки маховика 24 резанием на токарном станке только с направления верхней поверхности 80 и отрезания маховика 24 от заготовки, как на вышеописанном этапе 73, обеспечивается такое преимущество, что все поверхности маховика 24 обрабатываются резанием, без снятия маховика 24 с токарного станка. То есть, маховик 24 обрабатывается резанием без повторного зажима заготовки из материала, что могло бы привести к возникновению эксцентриситета. Это приводит к уменьшению допусков между поверхностями маховика 24 и снижает первоначальную разбалансировку в маховике 24.

Затем, на этапе 74, выточенный маховик 24 устанавливают на двигатель 25 и карданный подвес 26 гироскопического устройства 11, чтобы сформировать узел 23 вращающегося маховика, описанный выше, например, со ссылкой на фиг. 3А и 3В. В частности, электродвигатель 25 закрепляют на карданном подвесе 26, и затем вал 29

электродвигателя устанавливают по прессовой посадке в отверстие 58 маховика 24 для крепления двигателя.

Затем, на этапе 75, узел 23 вращающегося маховика балансируют, чтобы улучшить балансировку узла 23 вращающегося маховика, в частности, маховика 24. Данный этап 75 содержит установку узла 23 вращающегося маховика на блок акселерометров, содержащий крепление для карданного подвеса 26, множество акселерометров для измерения колебаний в карданном подвесе 26 и устройство лазерной абляции для удаления материала с маховика 24 посредством лазерной абляции. Устройство лазерной абляции выполнено с возможностью удаления материала с маховика 24 в плоскостях 79, показанных на фиг. 17. Две плоскости 79 располагаются на кромках окружной поверхности 77 маховика 24, вблизи нижней поверхности 78 и верхней поверхности 80. Удаление материала с маховика 24 в плоскостях 79 обеспечивает более эффективную форму балансировки, так как масса, удаляемая с окружной поверхности 77 маховика 24 будет оказывать наибольшее влияние при снижении разбалансировки, и обеспечение двух плоскостей 79 позволяет получить приемлемую степень балансировки, при меньшем совокупном удалении материала, ослаблении какого-либо влияния на момент инерции и вращательный момент, обеспечиваемые маховиком 24 во время работы.

В других примерах, материал можно удалять с маховика 24 с использованием других способов, например, механического сверления или резания. В предпочтительно варианте, материал удаляют с маховика 24 с применением бесконтактной операции, при которой отсутствует механический контакт с маховиком 24, например, посредством лазерной абляции или электронно-лучевой абляции. Бесконтактная операция полезна тем, что не вызывает вибраций в маховике 24, которые могли бы повредить двигатель 25. В других примерах, для балансировки маховика 24, на маховик 24 можно наносить материал методом осаждения материала, например, посредством наваривания дополнительного материала на маховик 24 или посредством просверливания отверстия в маховике 24 и вкладывания более тяжелого материала в отверстие. Материал добавляют на маховик 24 с применением бесконтактной операции осаждения материала, например, физического осаждения из паровой фазы, такого как импульсное лазерное напыление.

На этапе 76, после установки узла 23 вращающегося маховика на блок акселерометров, двигатель 25 узла 23 вращающегося маховика приводят в действие, чтобы вращать маховик 24 с первой скоростью, и материал удаляют с маховика 24 методом лазерной абляции, исходя из вибраций, измеряемых акселерометрами, чтобы ослабить вибрации, вызываемые маховиком 24. Это улучшает балансировку узла 23 вращающегося маховика.

Затем, на этапе 81, двигатель 25 узла 23 вращающегося маховика повышает скорость вращения маховика 24 до второй скорости, выше первой скорости на этапе 76, и материал удаляют с маховика 24 методом лазерной абляции, исходя из вибраций, измеряемых акселерометрами, чтобы ослабить вибрации, вызываемые маховиком 24.

При необходимости, этап 81 повторяют с еще более высокими скоростями

вращения, чем вторая скорость.

Вышеописанный способ обеспечивает сбалансированный узел 23 вращающегося маховика.

Применение двигателя 25 гироскопического устройства 11 в процессе балансировки дает такое преимущество, что узел 23 вращающегося маховика (т.е. маховик 24, карданный подвес 26 и двигатель 25) балансируются как один блок, что обеспечивает очень точные допуски между валиком 29 электродвигателя и окружной поверхностью 77 маховика 24. Затем отбалансированный узел 23 вращающегося маховика можно собрать в гироскопическое устройство 11, без нарушения балансировки узла 23 вращающегося маховика. Узел 23 вращающегося маховика предпочтительно не разбирают перед сборкой в гироскопическое устройство 11, в частности корпус 17, как показано на фиг. 3А и 3В.

Выполнение балансировки на первой скорости и последующее выполнение балансировки на второй, более высокой скорости дает преимущество в том, что обеспечивается защита двигателя 25, в частности, подшипников двигателя 25, от вибраций, создаваемых первоначально несбалансированным маховиком. Это позволяет использовать тот же электродвигатель 25 в гироскопическом устройстве 11 без разборки узла 23 вращающегося маховика перед сборкой в гироскопическое устройство 11.

Авторы изобретения установили, что вышеописанный способ изготовления и балансировки маховика 24 обеспечил сбалансированный узел 23 вращающегося маховика, который обеспечил допуски лучше предельных, заданных в ISO 1940/1, т.е. достиг степени балансировки ниже, чем G0.4.

Упомянутая высокая степень балансировки особенно полезна в устройстве для стабилизации тремора, описанном в настоящей заявке, так как она минимизирует или устраняет вибрации и шум, что полезно для пользователя, а также продлевает срок эксплуатации гироскопического устройства 11 и продлевает срок службы батарейки, поскольку на приведение в движение маховика 24 затрачивается меньше энергии.

Хотя устройство по настоящему изобретению описано выше, в основном, применительно к терапевтическим эффектам для страдающих неврологическими заболеваниями, вызывающими сравнительно сильный тремор, настоящее изобретение равным образом пригодно для других случаев применения, когда полезно было бы стабилизировать колебания кисти руки (например), такие как колебания с нормальной амплитудой, вызываемые пульсацией кровотока, например, в области спорта (например, при стрельбе из луча, метании дротиков или игре в гольф); изящных искусств, например, при вырисовывании мелкой детали; фотографии или в хирургии.

Для исключения сомнений, признаки или аспекты настоящего изобретения, которые описаны в настоящей заявке применительно к конкретному варианту осуществления, не ограничиваются данным вариантом осуществления. Описанные признаки можно сочетать в любой комбинации. Любые такие комбинации охватываются изобретением и не подлежат интерпретации как дополнительный предмет изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для стабилизации тремора кисти руки, содержащее узел вращающегося маховика, устанавливаемый на кисть руки пользователя; при этом узел вращающегося маховика содержит i) маховик, имеющий массу маховика, m , и диаметр маховика, d , и ii) первичный двигатель, выполненный с возможностью вращения маховика со скоростью вращения, R , вокруг оси вращения маховика таким образом, что узел вращающегося маховика развивает вращательный момент, имеющий величину от приблизительно $0,05 \text{ кгм}^2/\text{с}$ до приблизительно $0,30 \text{ кгм}^2/\text{с}$.

2. Устройство по п. 1, в котором масса, m , маховика равна или менее 2 кг, предпочтительно равна или менее 1 кг, предпочтительнее равна или менее 0,5 кг, предпочтительнее составляет приблизительно от 0,05 кг до 0,5 кг, предпочтительнее приблизительно от 0,1 кг и 0,2 кг.

3. Устройство по п. 1 или п. 2, в котором диаметр маховика, d , равен или менее приблизительно 150 мм, предпочтительнее равен или менее приблизительно 100 мм, предпочтительнее равен или менее приблизительно 80 мм, предпочтительнее приблизительно равен 50 мм.

4. Устройство по любому предыдущему п., в котором скорость вращения, R , маховика имеет значение в диапазоне приблизительно от 5000 об/мин до 70000 об/мин, предпочтительно приблизительно от 10000 об/мин до 30000 об/мин, предпочтительнее от приблизительно 15000 об/мин до приблизительно 30000 об/мин.

5. Устройство по любому предыдущему п., дополнительно содержащее контроллер, выполненный с возможностью управления первичным двигателем, и датчик, выполненный с возможностью измерения характеристики перемещения кисти руки пользователя, когда узел вращающегося маховика установлен на кисти руки пользователя, и при этом контроллер выполнен с возможностью управления первичным двигателем, чтобы вращать маховик со скоростью вращения, R , на основании измеренной характеристики.

6. Устройство по п. 5, в котором датчик выполнен с возможностью измерения характеристики тремора кисти руки, когда узел вращающегося маховика установлен на кисти руки пользователя, например, амплитуды, частоты и/или ускорения тремора кисти руки.

7. Устройство по любому предыдущему п., дополнительно содержащее корпус, и при этом узел вращающегося маховика дополнительно содержит карданный подвес, причем маховик установлен на карданном подвесе, и причем карданный подвес установлен на корпусе с возможностью поворота вокруг оси прецессии таким образом, что маховик может прецессировать относительно корпуса.

8. Устройство по п. 7, в котором корпус содержит поворотный столик, при этом карданный подвес установлен с возможностью поворота на поворотном столике, чтобы задавать ось прецессии, и причем поворотный столик является поворотным вокруг оси поворота таким образом, что ось прецессии может поворачиваться относительно корпуса.

9. Устройство по п. 7, в котором корпус содержит посадочное место шарнира, которое взаимодействует с шарнирным элементом карданного подвеса, чтобы устанавливать карданный подвес на корпусе с возможностью поворота вокруг оси прецессии, которая является фиксированной относительно корпуса.

10. Устройство по любому предыдущему п., в котором маховик содержит центральный дисковый участок и окружную кромку, продолжающуюся в аксиальном направлении оси вращения маховика, при этом окружная кромка образует заглубленную полость.

11. Устройство по п. 10, в котором заглубленная полость содержит по меньшей мере 50% от общей массы маховика, предпочтительно по меньшей мере 75% от общей массы маховика.

12. Устройство для стабилизации тремора, содержащее корпус, который является закрепляемым на части тела пользователя, например, кисти руки, и узел вращающегося маховика, установленный на корпусе, при этом узел вращающегося маховика содержит вращающийся маховик и первичный двигатель, выполненный с возможностью вращения маховика вокруг оси вращения маховика; причем маховик содержит центральный дисковый участок и окружную кромку, продолжающуюся в аксиальном направлении оси вращения маховика, причем окружная кромка образует заглубленную полость и содержит по меньшей мере 50% от общей массы маховика, предпочтительно по меньшей мере 75% от общей массы маховика.

13. Устройство по п. 11 или п. 12, в котором первичный двигатель по меньшей мере частично вставлен в заглубленную полость маховика.

14. Устройство по любому предыдущему п., в котором первичный двигатель содержит электродвигатель.

15. Устройство по п. 14, в котором электродвигатель содержит электродвигатель, содержащий один или более из следующих признаков:

отношение высоты в аксиальном направлении оси вращения маховика к ширине, перпендикулярной высоте, равно приблизительно 1 или менее; и/или

бесщеточный электродвигатель; и/или

бесщеточный электродвигатель постоянного тока; и/или

электродвигатель постоянного тока, содержащий ротор с диаметрально поляризованными постоянными магнитами; и/или

электродвигатель постоянного тока, содержащий беспазовые и/или бессердечниковые обмотки; и/или

аксиальная конфигурация потока.

16. Способ изготовления устройства для стабилизации тремора для закрепления на части тела пользователя, например, кисти руки, при этом устройство для стабилизации тремора содержит маховик для создания гироскопических сил, чтобы стабилизировать тремор в части тела пользователя, причем способ содержит следующие этапы:

устанавливают маховик на двигатель устройства для стабилизации тремора, чтобы

предоставить узел вращающегося маховика устройства для стабилизации тремора, причем узел вращающегося маховика содержит вращающийся элемент, содержащий маховик и ротор двигателя;

используют двигатель, чтобы вращать вращающийся элемент;

удаляют материал с вращающегося элемента или добавляют материал на вращающийся элемент, чтобы сбалансировать узел вращающегося маховика; и

собирают узел вращающегося маховика в корпусе устройства для стабилизации тремора.

17. Способ по п. 16, дополнительно содержащий этап закрепления двигателя и маховика на карданном подвесе, содержащем шарнирный элемент для оси прецессии узла вращающегося маховика, этап установки карданного подвеса на блоке акселерометров посредством шарнирного элемента, этап использования двигателя, чтобы вращать маховик на блоке акселерометров, и удаления материала с вращающегося элемента или добавления материала на вращающийся элемент.

18. Способ по п. 16 или п. 17, в котором маховик изготавливают точением заготовки материала на токарном станке, чтобы сформировать маховик, при этом точение содержит срезание материала с заготовки материала от конца заготовки материала, противоположного патрону токарного станка, чтобы сформировать профиль маховика, и отрезание маховика от заготовки материала, без повторного зажима заготовки материала на токарном станке.

19. Способ по любому из пп. 16-18, в котором материал снимают с маховика или добавляют на маховик с использованием бесконтактного процесса, например, абляции, такой как лазерная абляция или электронно-лучевая абляция.

20. Способ по любому из пп. 16-19, в котором маховик содержит окружную поверхность, и при этом этап удаления материала с маховика или добавления материала на маховик содержит удаление материала или добавление материала с/на по меньшей мере двух(две) плоскостей(и) окружной поверхности маховика.

21. Способ по любому из пп. 16-20, содержащий следующие этапы:

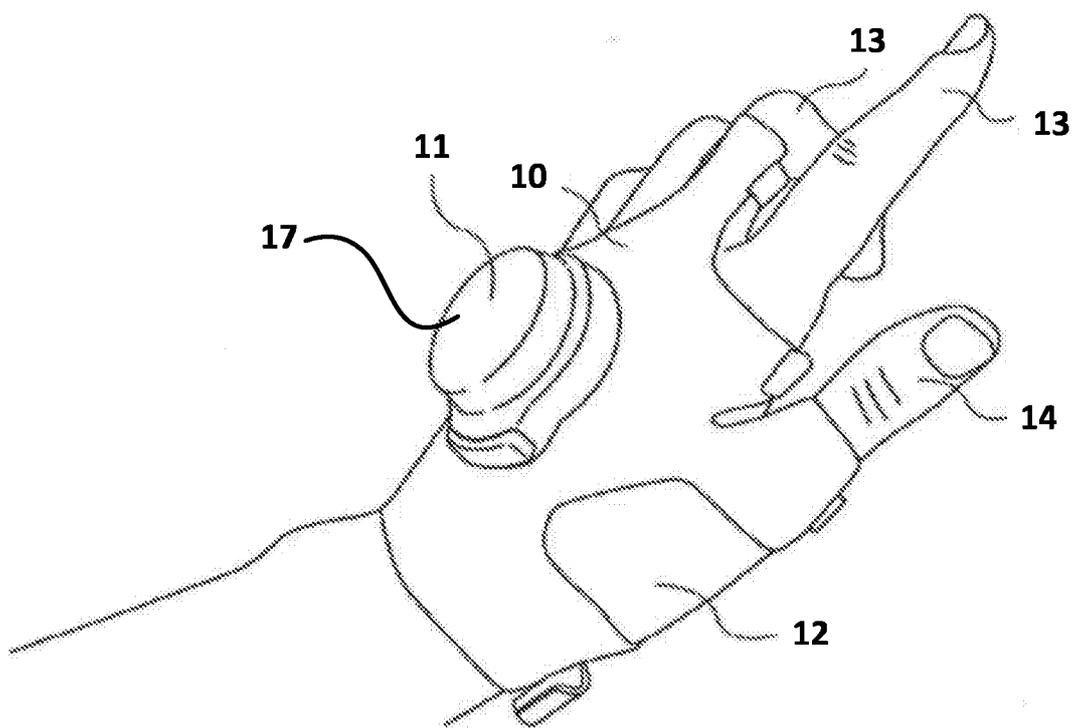
используют двигатель, чтобы вращать маховик с первой скоростью вращения,

удаляют материал с маховика или добавляют материал на маховик,

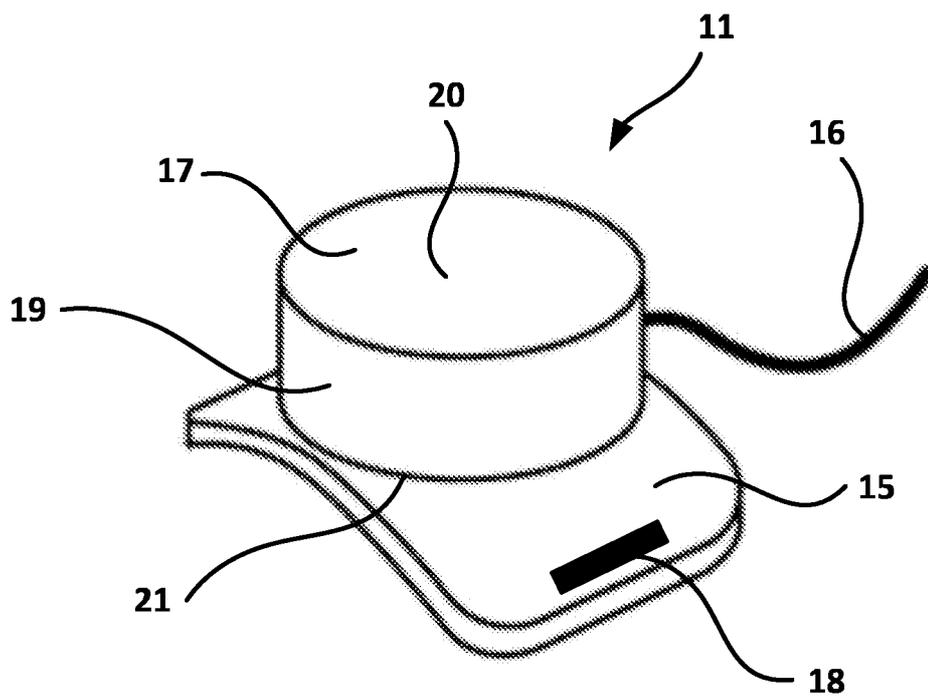
затем используют двигатель, чтобы вращать маховик со второй скоростью вращения, и

затем удаляют материал с маховика или добавляют материал на маховик, при этом вторая скорость вращения превышает первую скорость вращения.

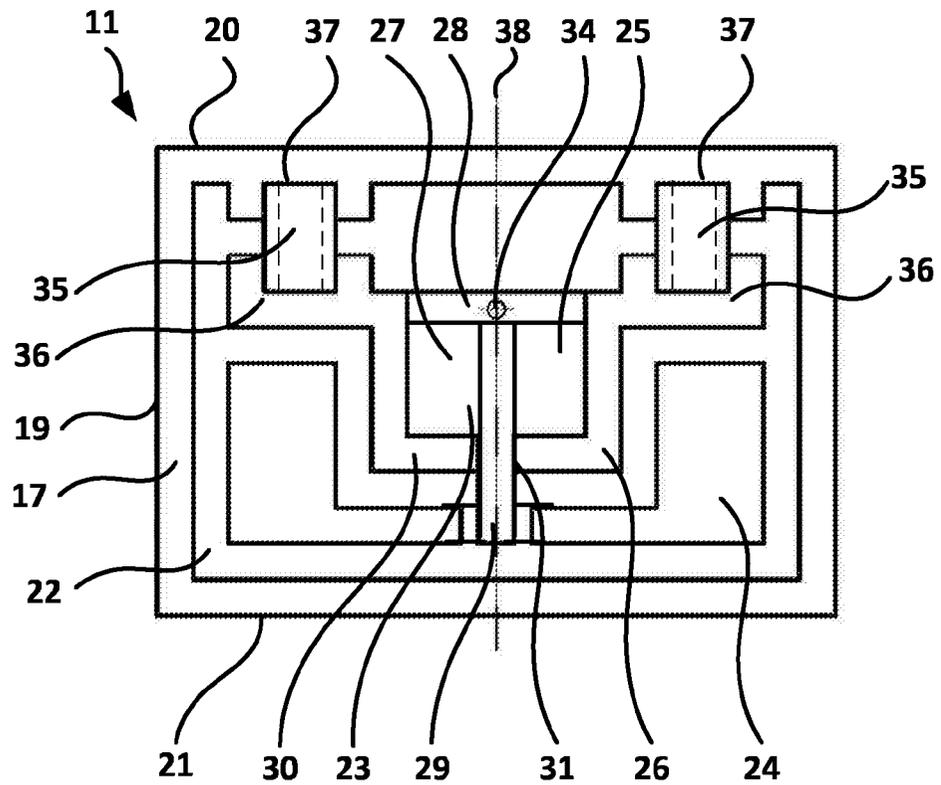
22. Устройство для стабилизации тремора, изготовленное в соответствии со способом по любому из пп. 16-21.



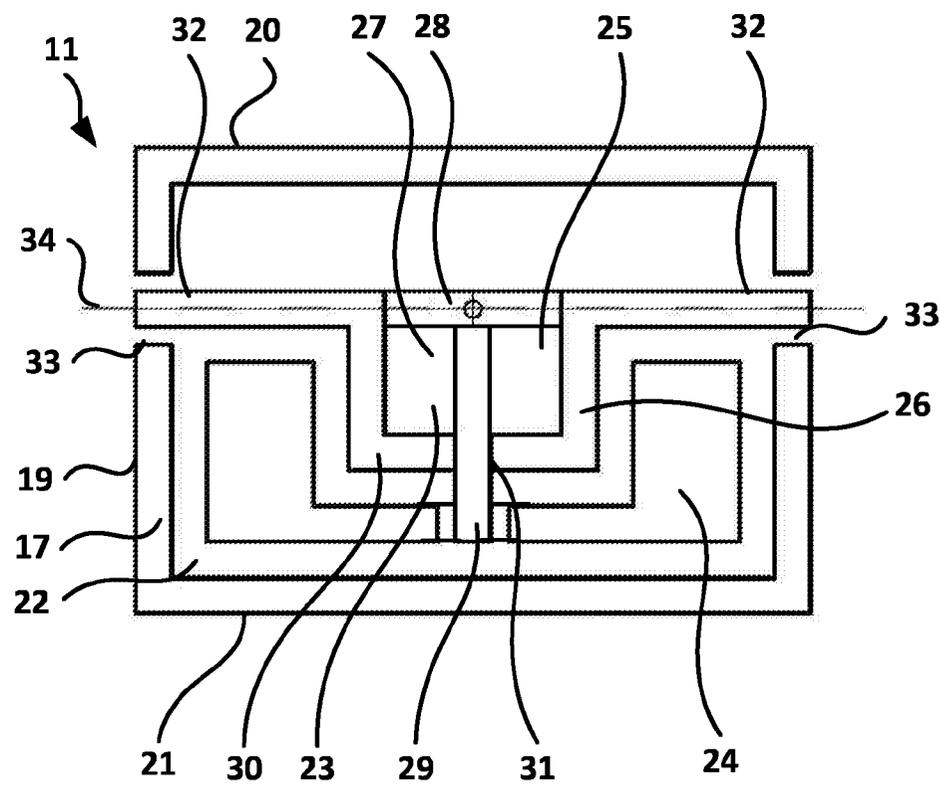
ФИГ. 1



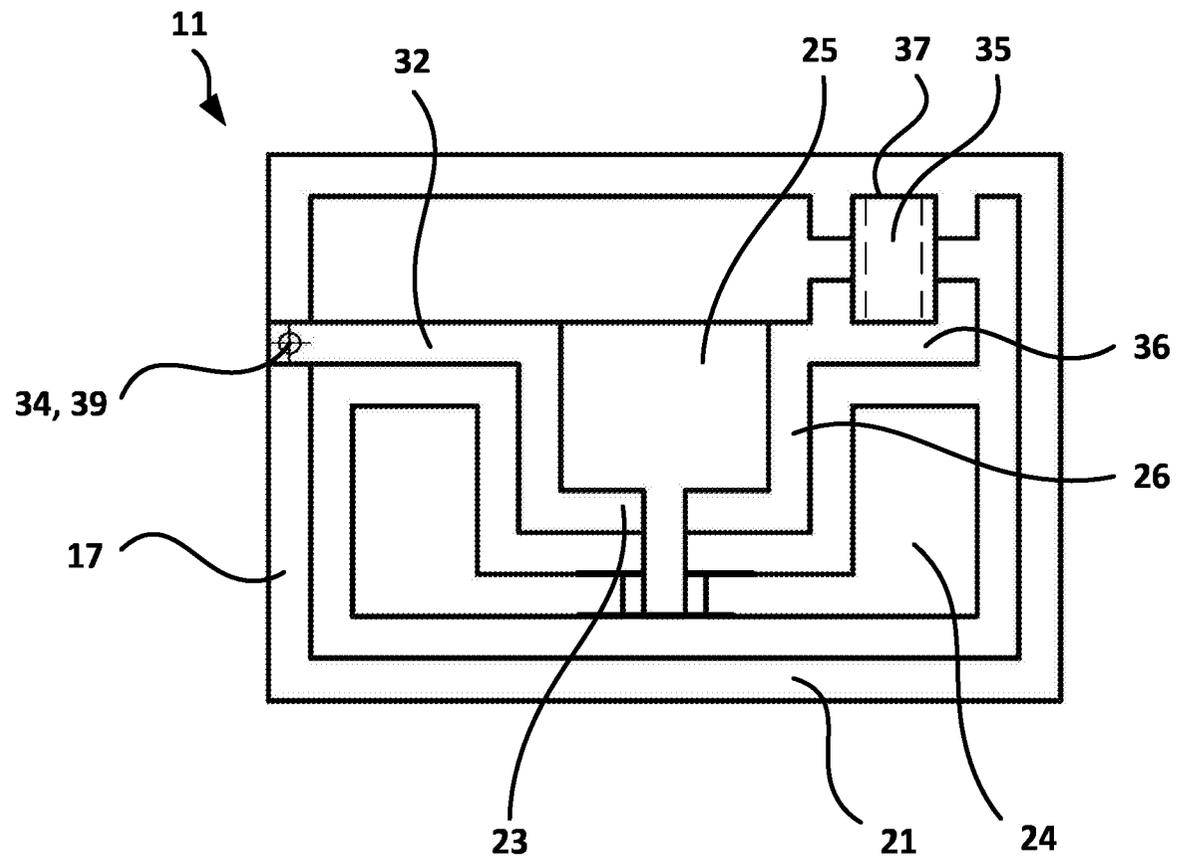
ФИГ. 2



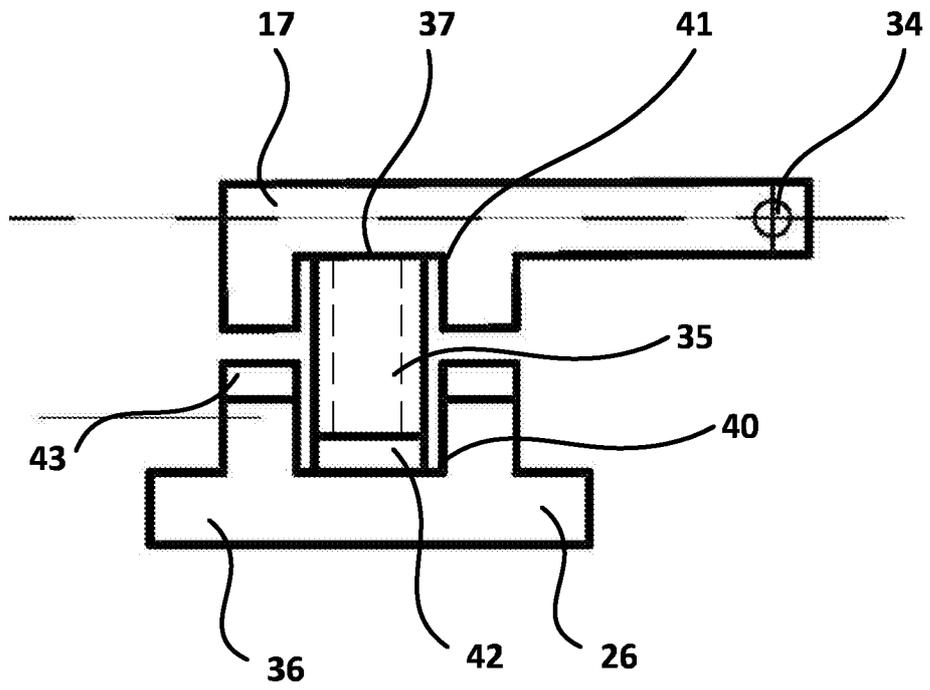
ФИГ. 3А



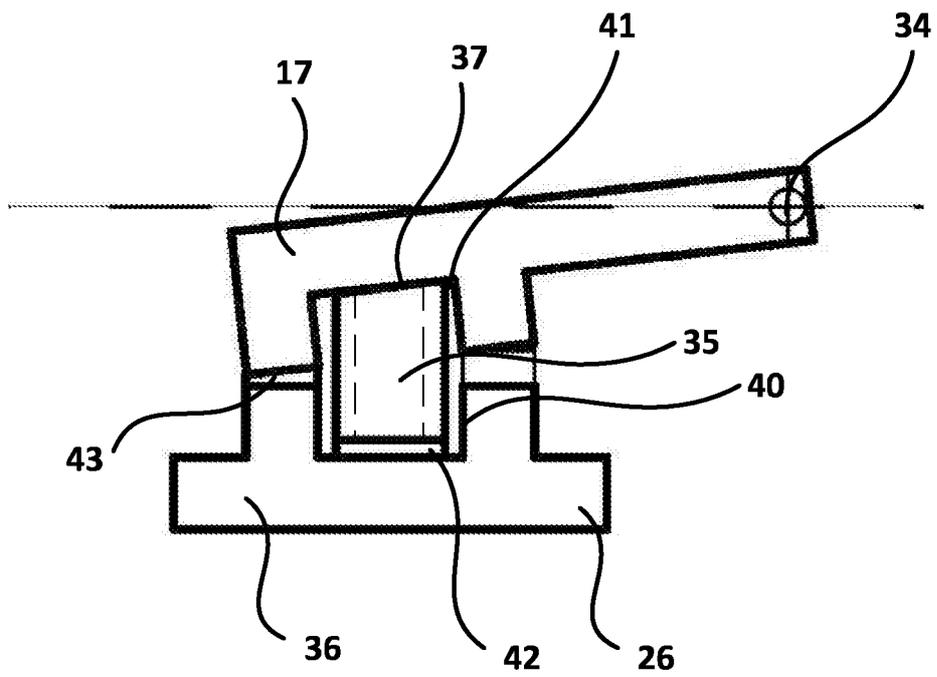
ФИГ. 3В



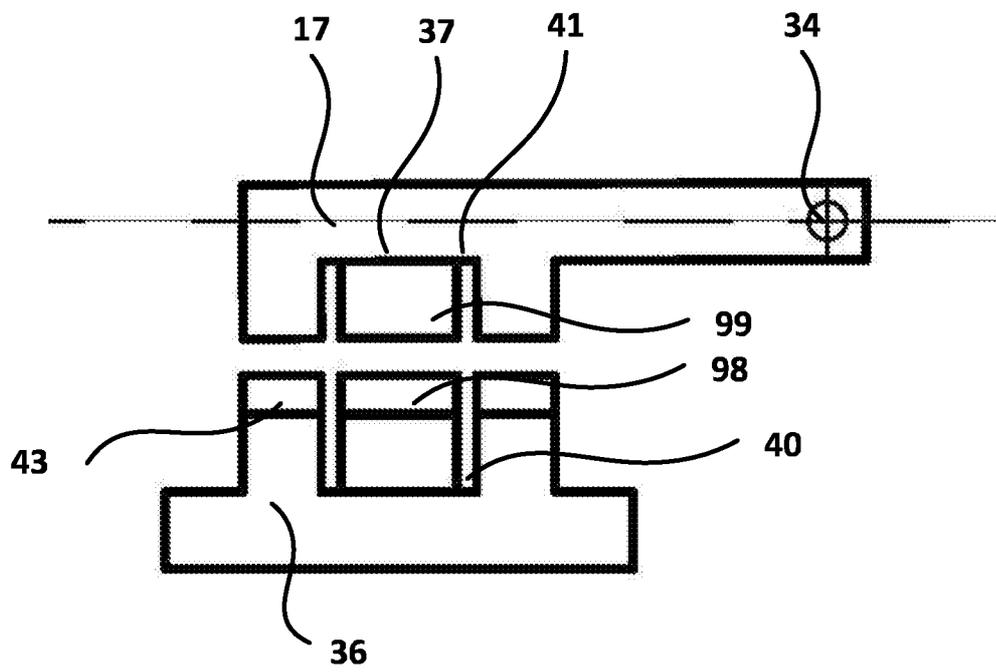
ФИГ. 4



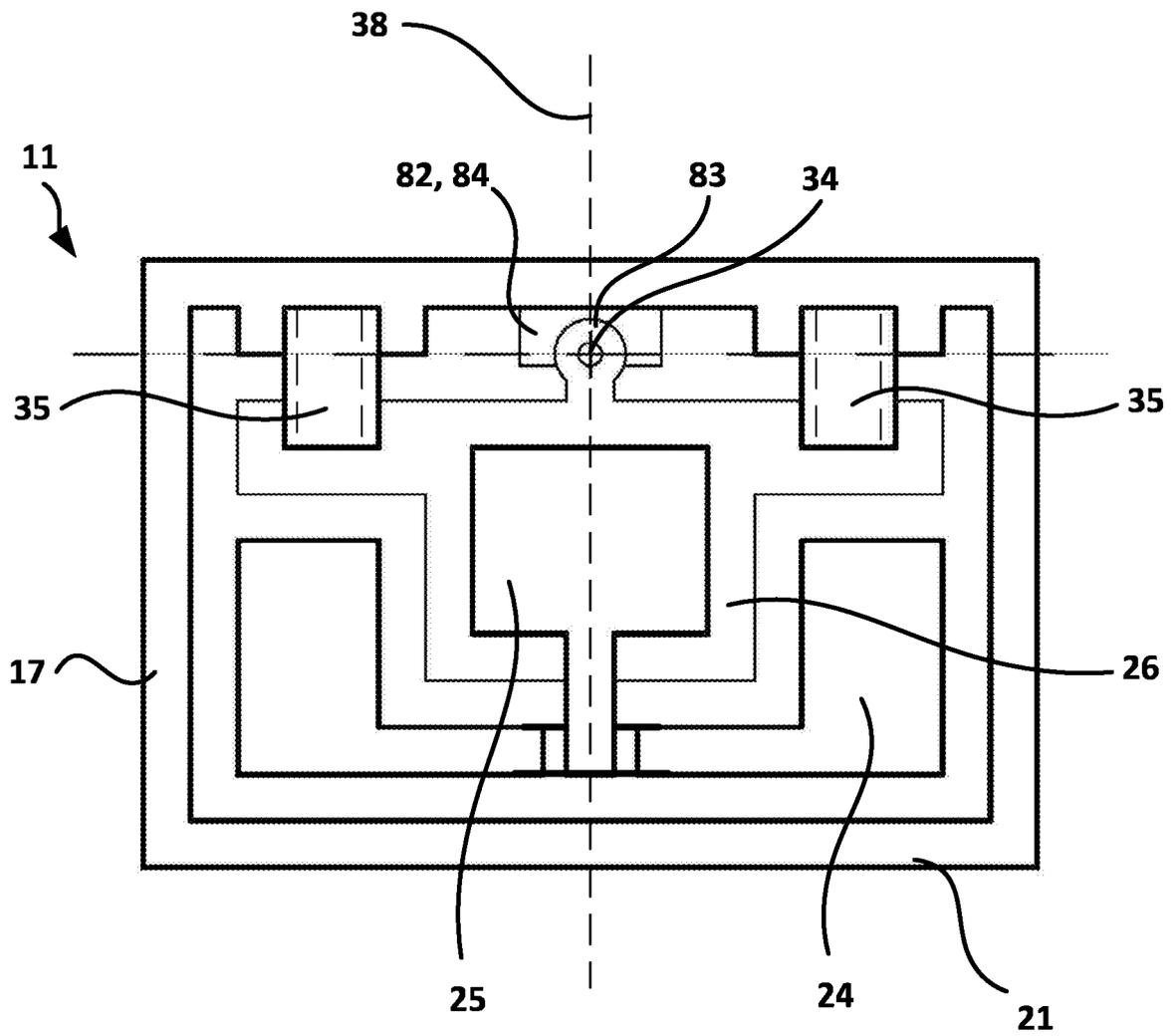
ФИГ. 5А



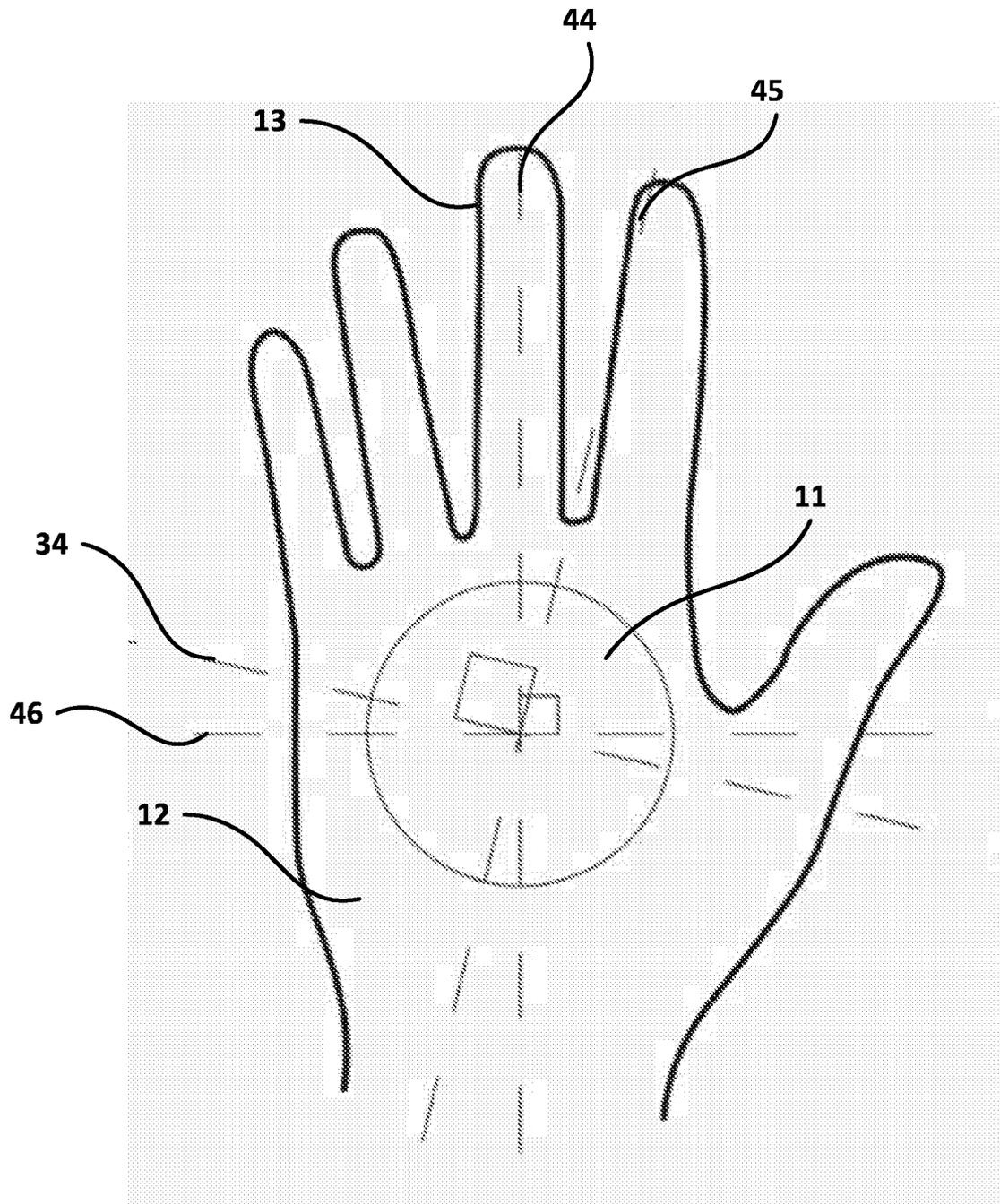
ФИГ. 5В



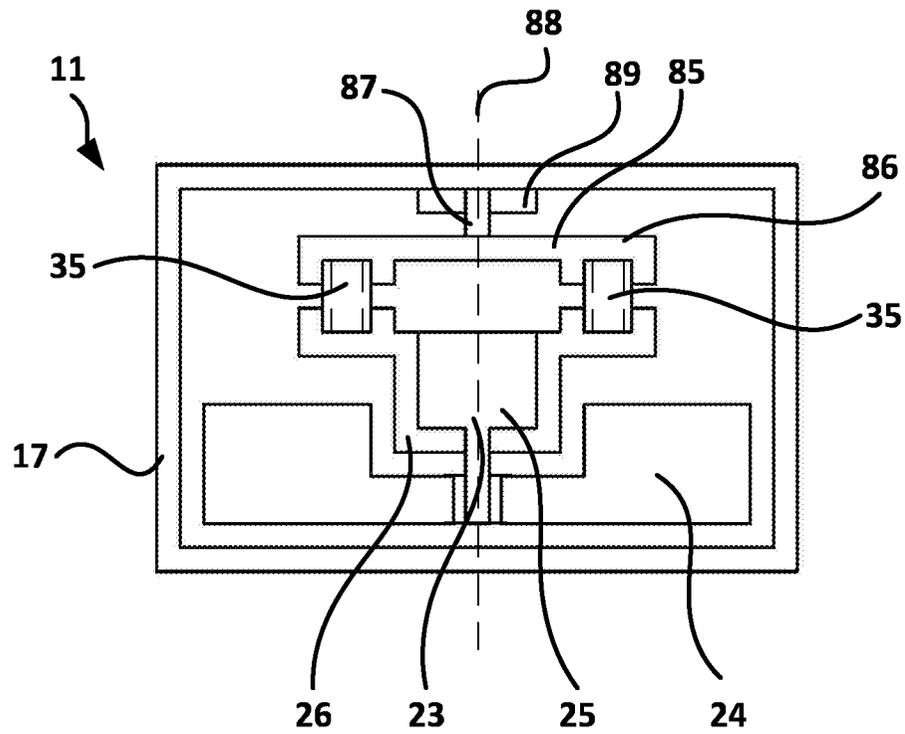
ФИГ. 6



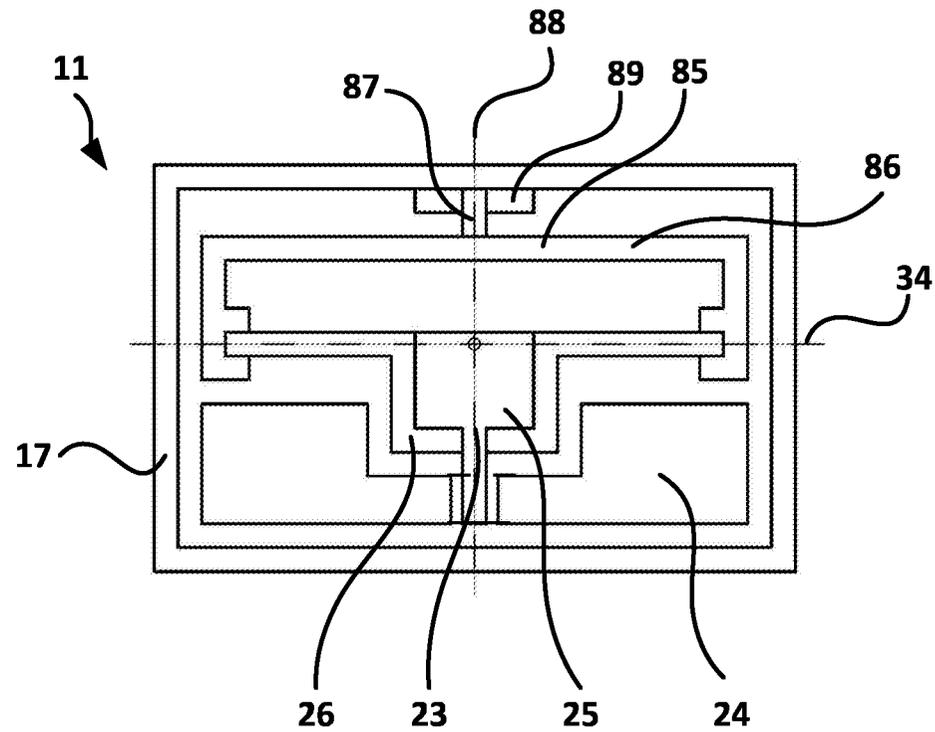
ФИГ. 7



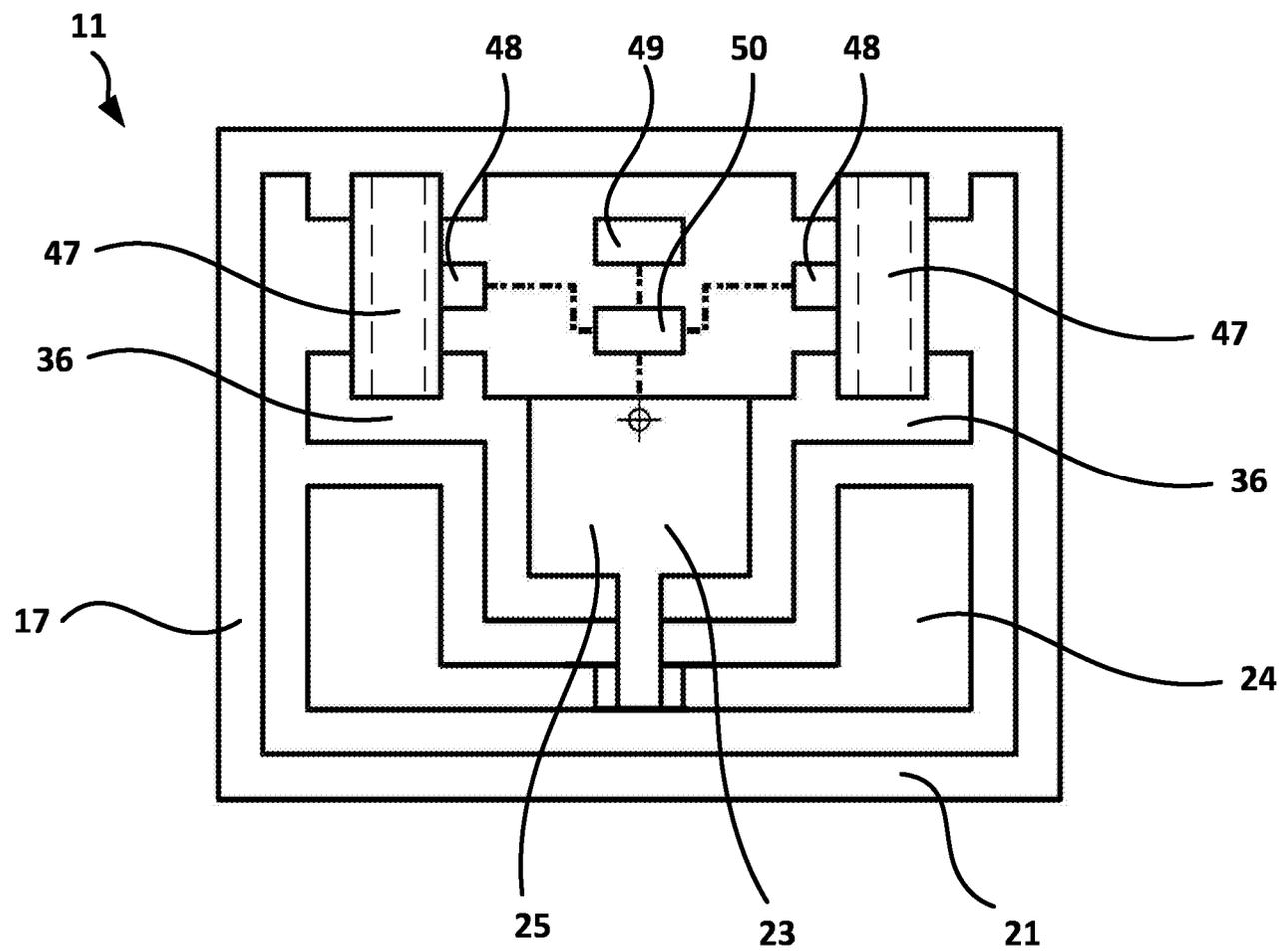
ФИГ. 8



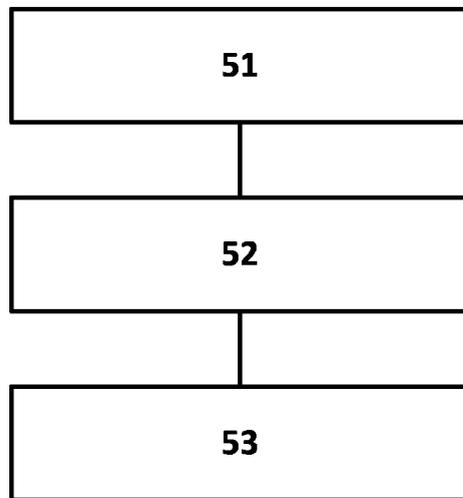
ФИГ. 9А



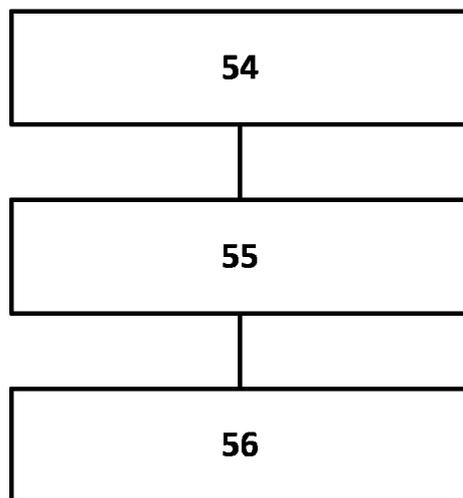
ФИГ. 9В



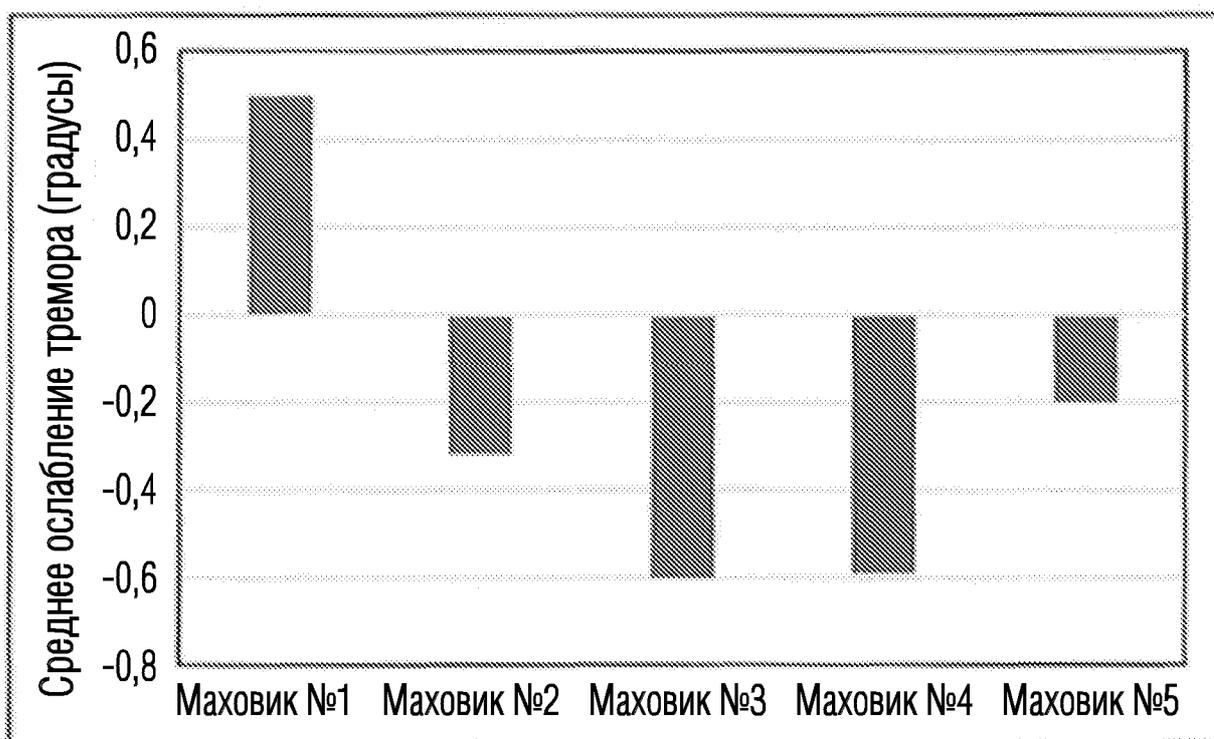
ФИГ. 10



ФИГ. 11

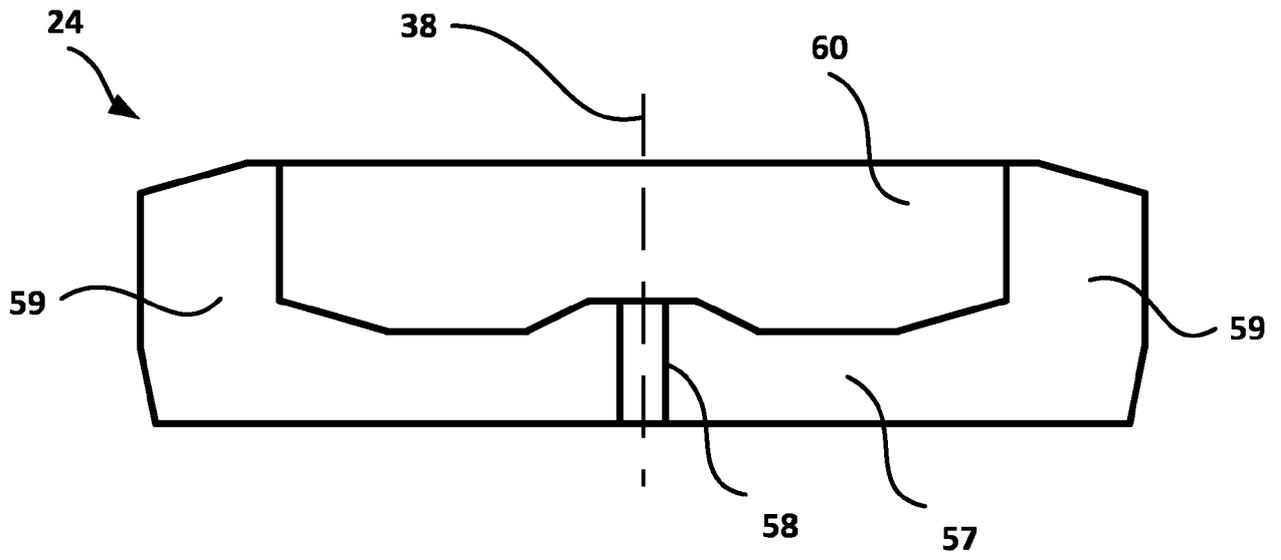


ФИГ. 12

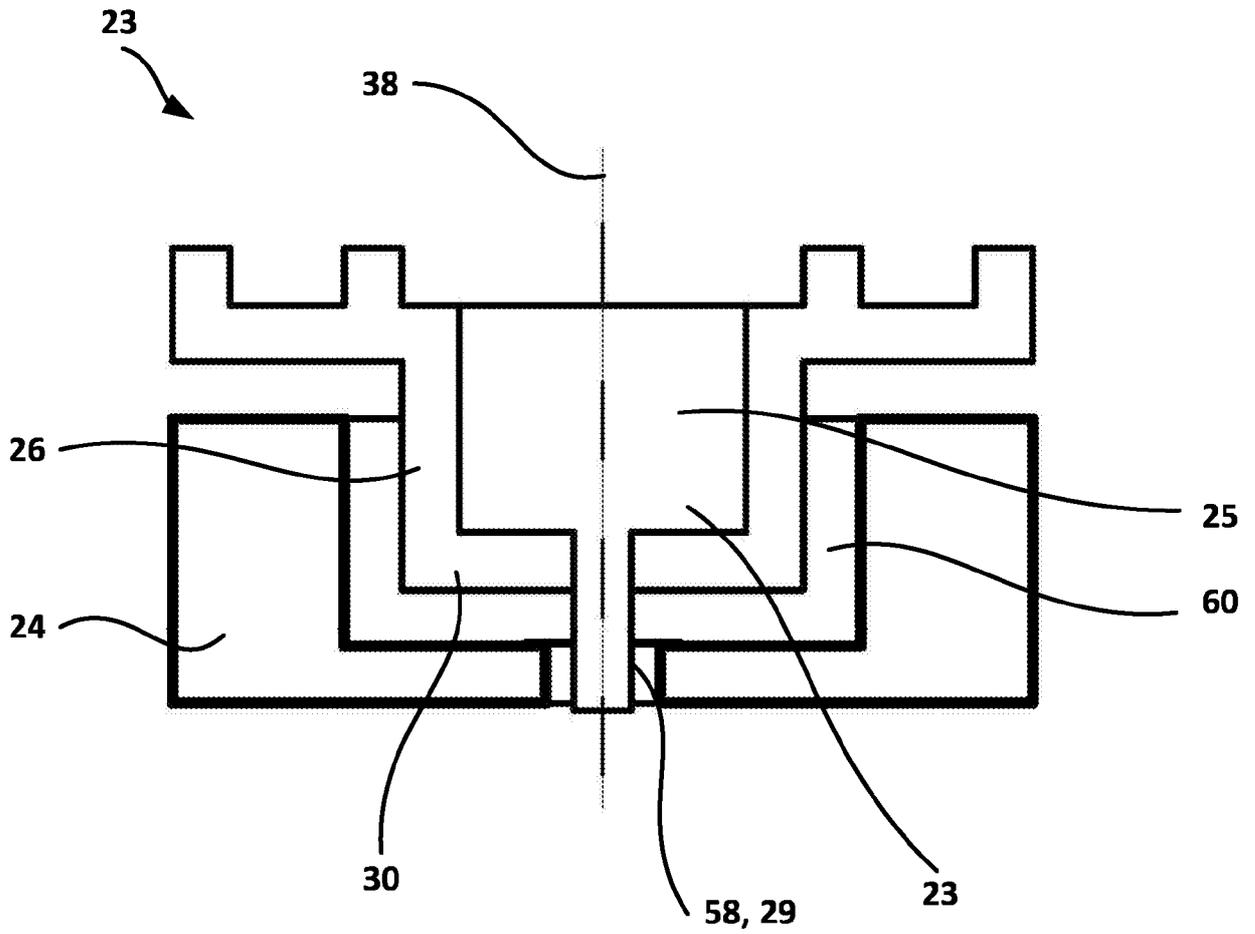


ФИГ. 13

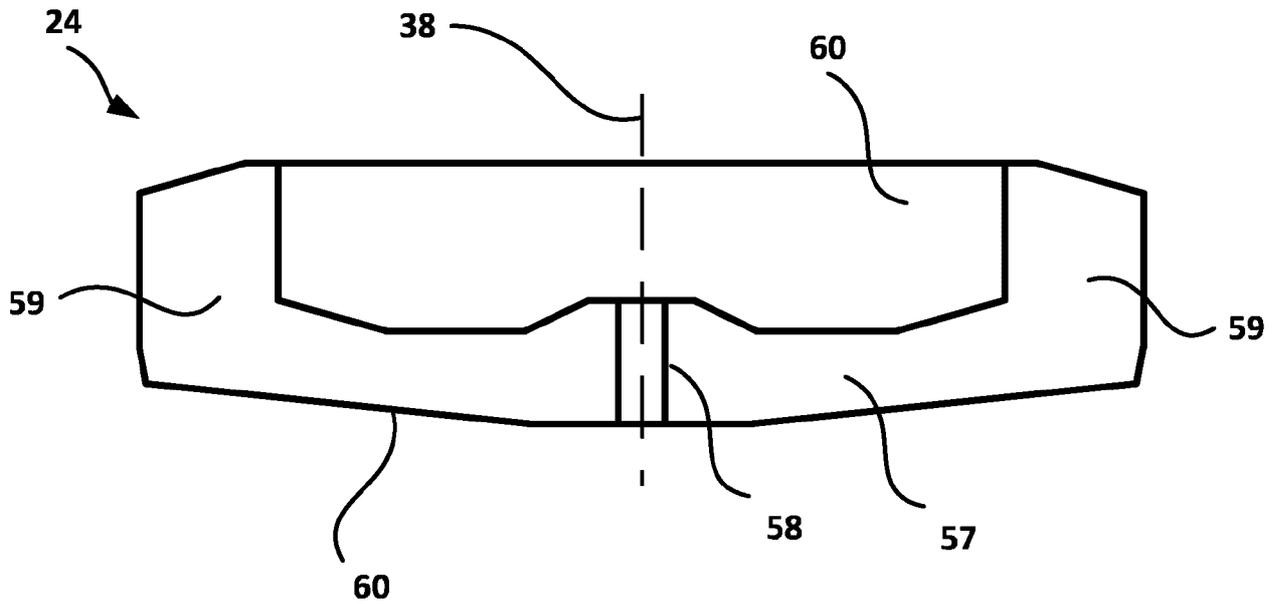
12/18



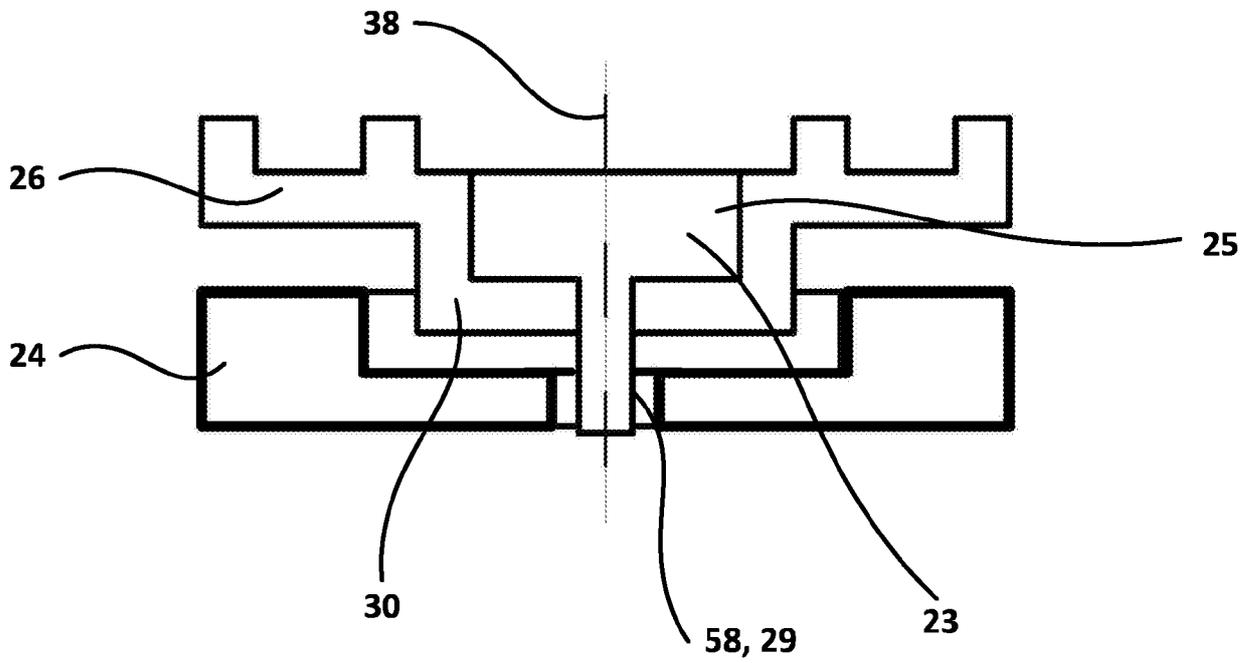
ФИГ. 14А



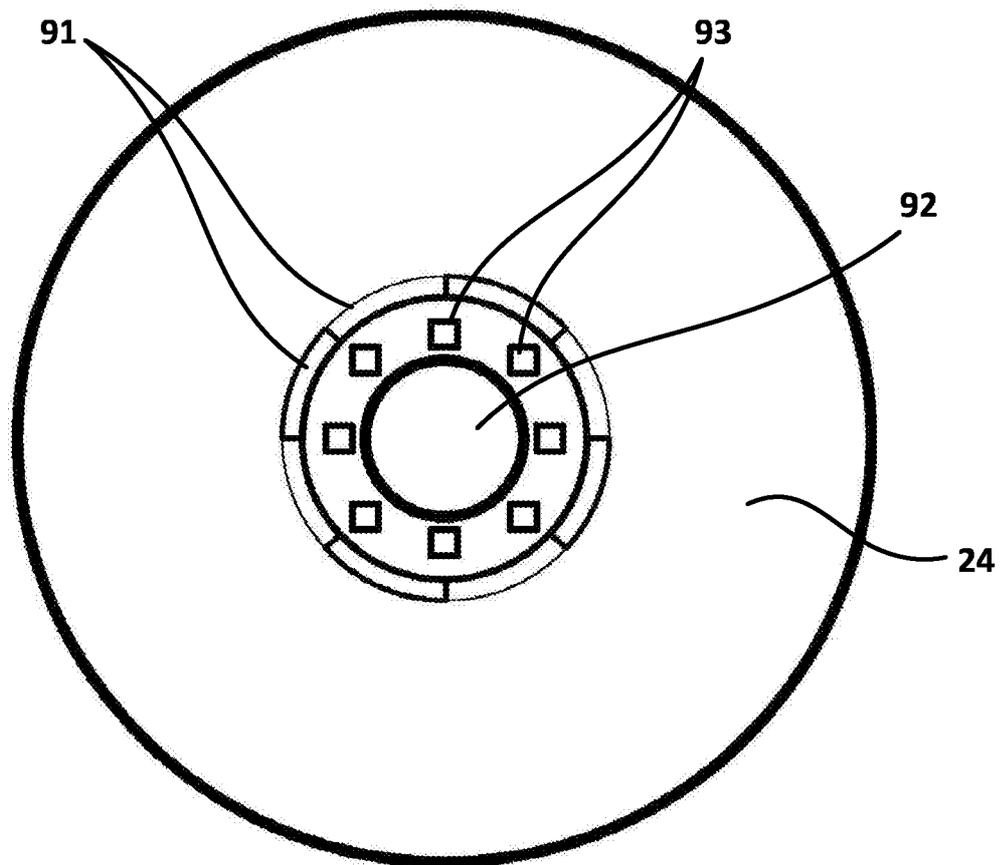
ФИГ. 14В



ФИГ. 15

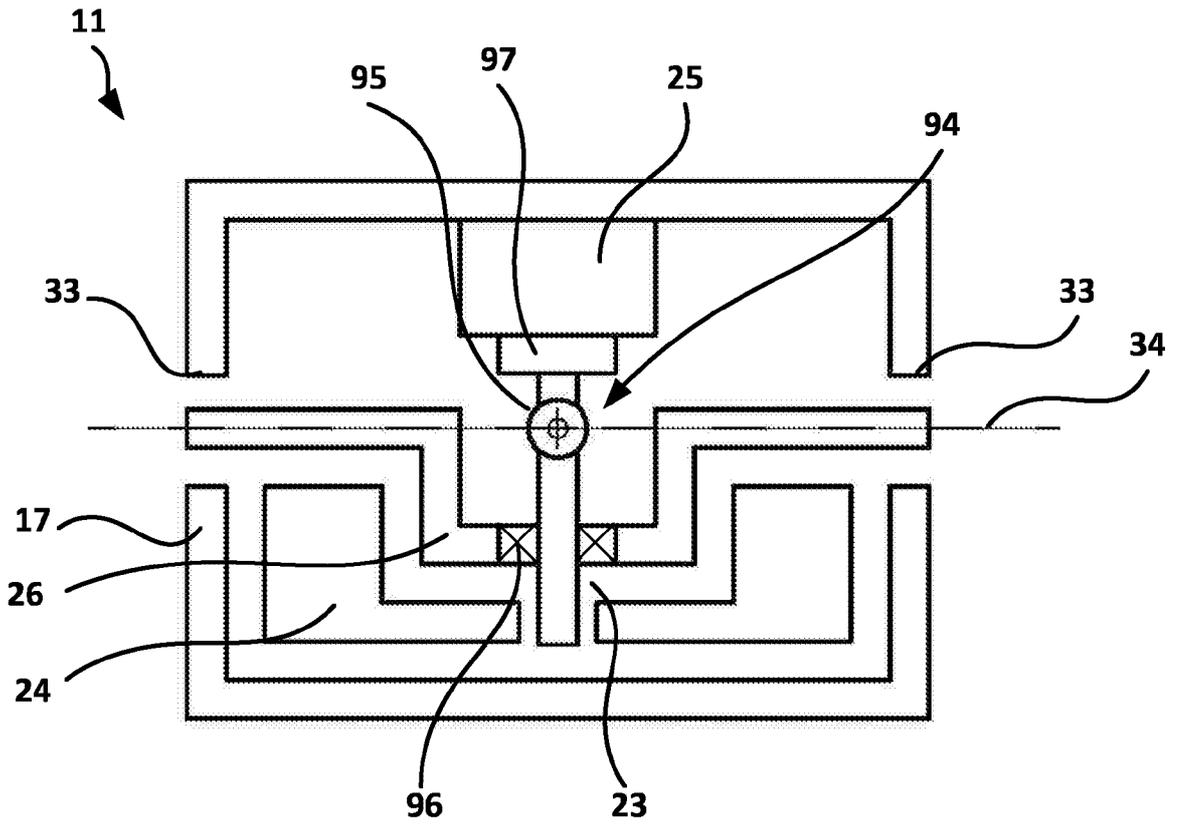


ФИГ. 16

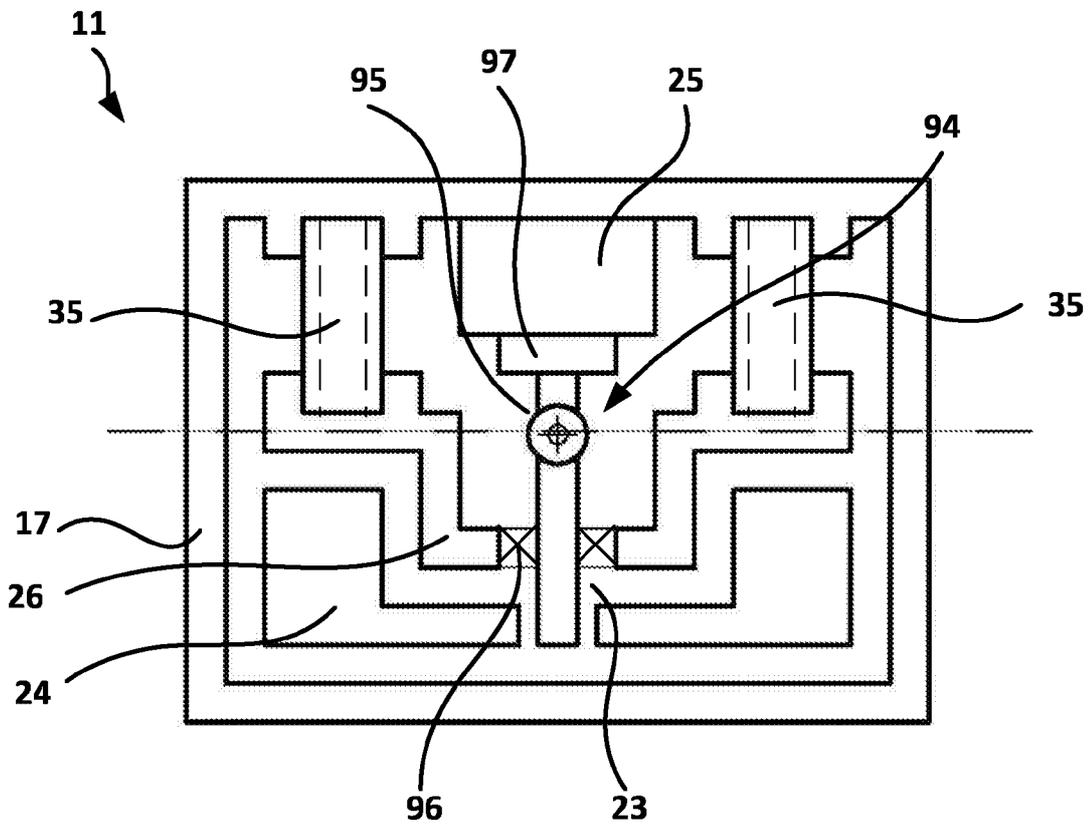


ФИГ. 17

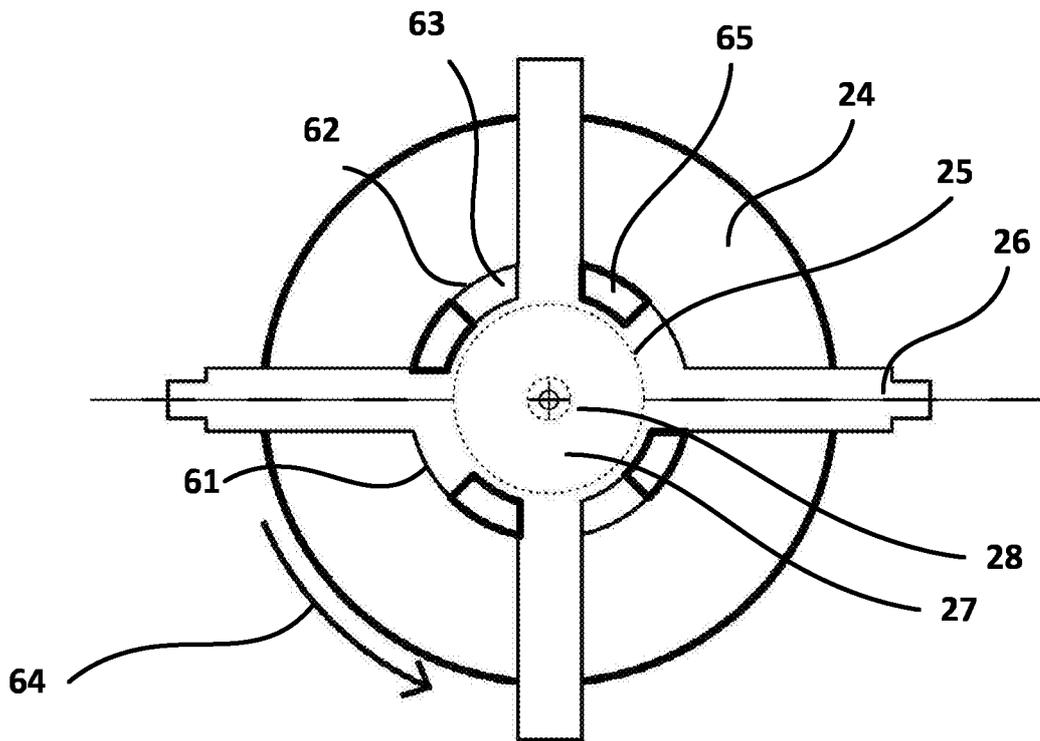
15/18



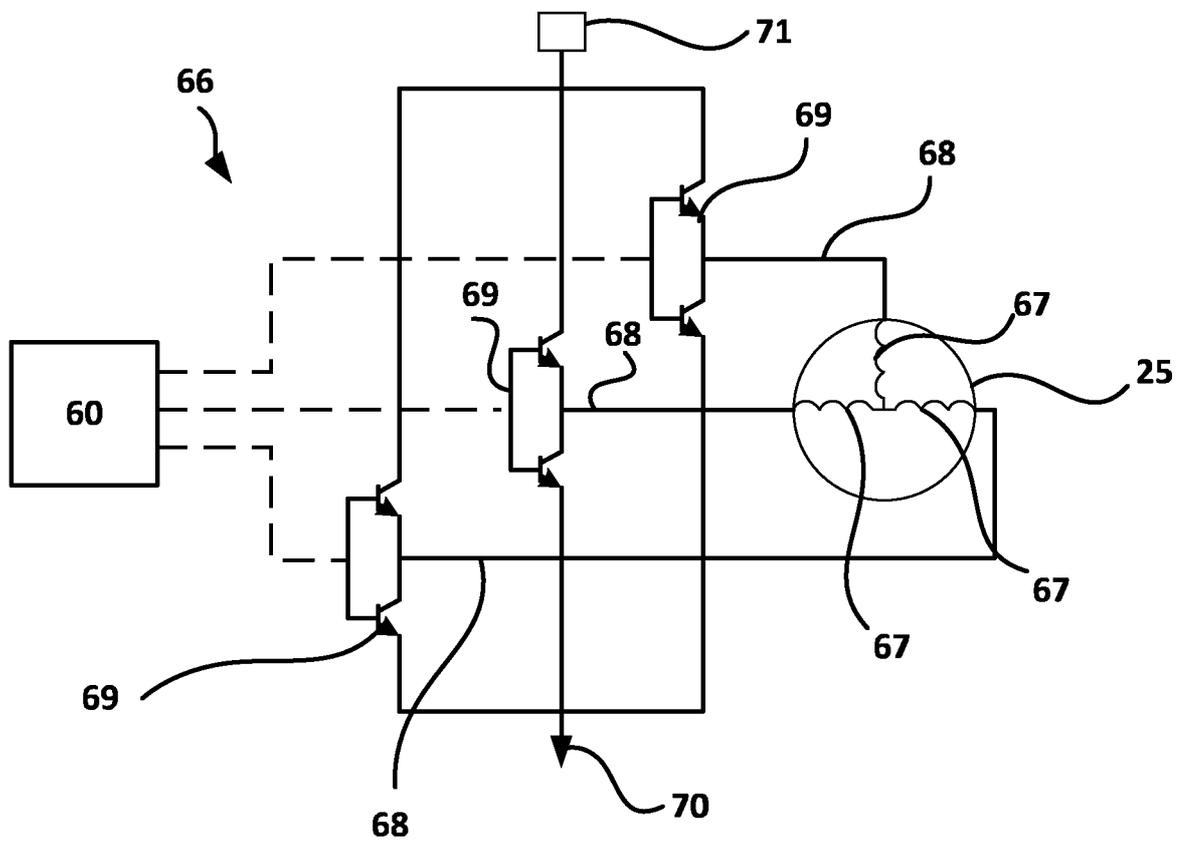
ФИГ. 18А



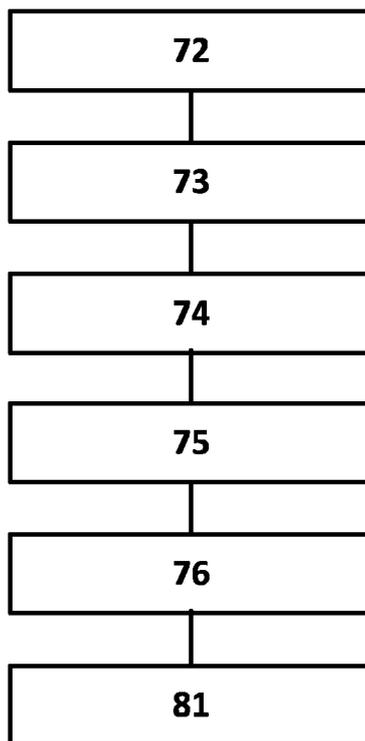
ФИГ. 18В



ФИГ. 19



ФИГ. 20



ФИГ. 23