

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039407**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.01.25

(21) Номер заявки
201890358

(22) Дата подачи заявки
2016.07.22

(51) Int. Cl. **H02K 29/08** (2006.01)
H02K 1/27 (2006.01)
H02K 11/215 (2016.01)
H02K 11/33 (2016.01)
H02K 21/22 (2006.01)

(54) ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ БЕЗ КОДЕРА С ПОВЫШЕННОЙ ГРАНУЛЯРНОСТЬЮ И СПОСОБЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

(31) 62/195,449

(32) 2015.07.22

(33) US

(43) 2018.08.31

(86) PCT/US2016/043757

(87) WO 2017/015638 2017.01.26

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СИФИИД (US)

(72) Изобретатель:
Пхан Тиен, Дорити Дуг (US)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) US-A1-2006006747
US-A1-2007176568
CN-U-201860242
CN-U-203537206

(57) Предложен электрический двигатель постоянного тока, имеющий статор, установленный на подложку, причем статор имеет узел катушек, имеющий сердечник из магнитного материала, ротор, установленный на статор, при этом ротор содержит постоянные магниты, распределенные радиально вокруг ротора, причем постоянные магниты выходят за пределы дальней оконечности магнитного сердечника, и датчики, установленные на подложку рядом с постоянными магнитами. Во время эксплуатации электродвигателя прохождение постоянных магнитов поверх упомянутого одного или более датчиков приводит к выработке, по существу, синусоидального сигнала изменяющегося напряжения, по существу, без шума и/или насыщения, тем самым обеспечивая определение углового положения ротора относительно подложки исходя из линейных участков синусоидального сигнала, не требуя применения кодера или датчиков положения и не требуя подавления шума или фильтрации сигнала.

B1**039407****039407****B1**

Область техники

Данное изобретение относится к области электрических двигателей, в частности бесщеточных электрических двигателей постоянного тока, и касается коммутации и кодирования для таких двигателей.

Уровень техники

Коммутация для бесщеточных электрических двигателей постоянного тока (БЭДПТ) может предусматривать применение датчиков Холла для восприятия перемещения постоянных магнитов при эксплуатации электродвигателей. Вместе с тем датчики Холла не стали успешно встраиваемыми для кодирования электродвигателей постоянного тока с высокой степенью точности и с высокой степенью гранулярности без применения дополнительных датчиков положения и/или аппаратных средств кодирования, так что полезность упомянутых датчиков Холла в этом контексте ограничена. Во многих случаях успешная эксплуатация и применение элементов с приводом от электродвигателя требует высокой степени точности и разрешения при определении положения (и изменений положения) элементов с приводом от электродвигателя. Это может оказаться важным, в частности, для малогабаритных устройств. Одним таким приложением является привод насосов и шприцев для манипулирования пробами текучих сред в аналитических процессах, например, при диагностических процедурах.

Поэтому существует потребность в системах и способах, которые обеспечивают смещение электродвигателя, например кодирование, с очень высокой степенью разрешения и позиционной точности. Желательно также разработать их с относительно простыми аппаратными средствами и программными средствами.

Краткое изложение сущности изобретения

В одном аспекте изобретения предложены система и способы кодирования бесщеточного электродвигателя постоянного тока таким образом, что это дает необычайно высокие разрешение и позиционную точность, не требуя применения никаких дополнительных аппаратных средств кодирования, как здесь описано. Такие же систему и способы можно также разработать для коммутации электродвигателя. В некоторых вариантах осуществления система обеспечивает кодирование бесщеточного электродвигателя постоянного тока без применения аппаратного кодера или датчиков положения и не требует никакой фильтрации шума сигнала измеряемого напряжения.

В некоторых вариантах осуществления изобретения предложена система электродвигателя, которая включает в себя статор, содержащий магнитный сердечник, ротор, который установлен с возможностью вращения относительно статора и имеет множество постоянных магнитов, распределенных радиально вокруг ротора, и один или более датчиков напряжения, находящихся в фиксированных положениях относительно статора и размещенных рядом с путем множества магнитов во время вращения ротора. Система дополнительно включает в себя модуль обработки, подключенный с возможностью связи к упомянутому одному или более датчикам и имеющий конфигурацию, обеспечивающую определение смещения электродвигателя исходя из сигнала напряжения упомянутого одного или более датчиков, без применения аппаратного кодера или датчика показаний, основанных на положении, и/или без подавления шума или фильтрации сигнала. В некоторых вариантах осуществления, множество магнитов выходят на некоторое расстояние (например, около 1 мм или более) за пределы магнитного сердечника статора, так что сигнал из датчика, по существу, не содержит шум.

В некоторых вариантах осуществления, система включает в себя модуль обработки, конфигурация которого обеспечивает прием сигнала измеряемого напряжения из упомянутого одного датчика или каждого из нескольких датчиков во время вращения ротора, причем этот сигнал является, по существу, синусоидальным сигналом изменяющегося напряжения во время вращения ротора; и определение смещения электродвигателя исходя из линейных участков синусоидального сигнала. В некоторых вариантах осуществления упомянутый один или более датчиков включают в себя по меньшей мере два датчика, распределенных вдоль пути множества магнитов таким образом, что линейные участки синусоидальных сигналов соседних датчиков из числа упомянутых по меньшей мере двух датчиков пересекаются, чтобы обеспечить повышенное разрешение и гранулярность объединенных участков сигнала для определения смещения электродвигателя.

В некоторых вариантах осуществления система включает в себя электродвигатель постоянного тока, имеющий статор, установленный на подложку, и ротор, установленный на статор. Статор включает в себя узел катушек, имеющий сердечник и электрические обмотки, причем узел катушек имеет наружный диаметр, ближнюю оконечность и дальнюю оконечность. Ротор включает в себя постоянные магниты, расположенные вдоль внешнего края (например, установленные на цилиндрическую юбку), причем ротор имеет наружный диаметр, внутренний диаметр и дальний край. В некоторых вариантах осуществления, постоянные магниты выходят за пределы дальней оконечности магнитного сердечника статора (т.е. узла катушек). Система дополнительно включает в себя один или более датчиков, установленных на подложку рядом с постоянными магнитами. В некоторых вариантах осуществления ротор изготовлен с использованием ряда отдельных постоянных магнитов, скомпонованных в виде структуры с чередующимися противоположными полярностями соседних магнитов на дальнем краю юбки. В некоторых вариантах осуществления ротор определен как одиночная деталь из магнитного материала (например, фер-

ромагнитного или ферромагнитного материала) в форме полосы, кольца или диска, который затем намагничивают для создания структуры с чередующимися противоположными магнитными полярностями на дальнем краю юбки. Оба способа изготовления пригодны для использования с изобретением. В некоторых вариантах осуществления сердечник, который является сердечником из магнитного материала, в типичном случае выполнен из металла или другого парамагнитного материала. Неограничительные возможные материалы, подходящие для использования в сердечнике согласно данному изобретению, включают в себя железо, особенно мягкое железо, кобальт, никель, кремний, плакированную кремнистую сталь, кремнистые сплавы, специальные сплавы (например, мю-металл, пермаллой, супермаллой, сендаст) и аморфные металлы (например, метгласс). Сердечник также может включать в себя воздух, а в некоторых вариантах осуществления сердечник является воздушным сердечником. Во время эксплуатации электродвигателя прохождение постоянных магнитов поверх упомянутого одного или более датчиков приводит к выработке, по существу, синусоидального сигнала изменяющегося напряжения, по существу, без шума и/или насыщения, тем самым обеспечивая определение углового положения ротора относительно подложки исходя из линейных участков синусоидального сигнала и без необходимости применения аппаратных средств кодирования или датчиков положения. Таким образом, определять смещение электродвигателя и управлять им можно с высокой степенью точности и разрешения. Например, такой электродвигатель, как описанный выше, содержащий 12 постоянных магнитов и 9 полюсов и предусматривающий использование 3 датчиков Холла и 11-разрядного аналого-цифрового преобразователя в качестве модуля обработки, может дать разрешение, соответствующее механическому повороту примерно $0,01^\circ$, без применения каких-либо аппаратных средств кодирования или датчиков положения либо фильтрации шума. Разрешение и точность системы можно увеличивать или уменьшать, изменяя количество полюсов, количество постоянных магнитов или пользуясь аналого-цифровым преобразователем (АЦП) большей или меньшей разрядности.

В некоторых вариантах осуществления, упомянутый один или более датчиков, установленных на подложку, позиционированы относительно расширенного края постоянных магнитов. Положение определено так, что зазор от расширенного края постоянных магнитов до упомянутого одного или более датчиков достаточен для выдачи сигнала напряжения постоянного тока, по существу, без шума и/или насыщения. В некоторых вариантах осуществления край постоянных магнитов выходит за пределы дальней оконечности узла катушек примерно на 100 микрон. В некоторых вариантах осуществления постоянные магниты выходят за пределы дальней оконечности узла катушек менее чем на 100 микрон, например на 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 микрон или менее, в зависимости от конкретных вариантов осуществления электродвигателя. В некоторых вариантах осуществления постоянные магниты выходят за пределы дальней оконечности узла катушек более чем на 100 микрон, например на 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 микрон, включая все значения между примерно 100 и 1000 микрон или более, в зависимости от конкретных вариантов осуществления электродвигателя. В некоторых вариантах осуществления постоянные магниты выходят за пределы дальней оконечности узла катушек примерно на 1 мм или более, включая - но не в ограничительном смысле - такие значения, как примерно на 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 мм или более. Точное расстояние, на которое постоянный магнит выходит за пределы дальней оконечности узла катушек, зависит от конкретных характеристик и вариантов осуществления электродвигателя, а также может быть определено обычным специалистом в данной области техники на основе приводимых здесь рекомендаций. В некоторых вариантах осуществления, упомянутый один или более датчиков являются линейными датчиками Холла, отстоящими друг от друга на одинаковую длину дуги вдоль дугообразной траектории ротора.

В некоторых вариантах осуществления электродвигатель включает в себя четное количество постоянных магнитов, равномерно разнесенных вокруг цилиндрической юбки, причем соседние магниты расположены, демонстрируя противоположную полярность, на дальнем краю юбки, и по меньшей мере два аналоговых датчика напряжения (в типичном случае - датчики Холла), при этом каждый датчик вырабатывает напряжение, изменяющееся, по существу, синусоидально. В некоторых вариантах осуществления электродвигатель включает в себя два или более аналоговых датчиков, и в некоторых вариантах осуществления количество аналоговых датчиков равно количеству фаз электродвигателя. Например, как описывается здесь, управление трехфазным электродвигателем возможно с помощью трех аналоговых датчиков. В некоторых вариантах осуществления электродвигатель включает в себя только один аналоговый датчик безотносительно количества фаз электродвигателя. В некоторых вариантах осуществления, где предусматривается трехфазный электродвигатель, используют три датчика Холла, каждый из которых вырабатывает напряжение, изменяющееся, по существу, синусоидально, три графика сдвинуты по фазе примерно на 120° , когда электродвигатель находится в эксплуатации. При условии, что минимальное количество датчиков равно количеству фаз электродвигателя, в некоторых вариантах осуществления можно использовать дополнительный датчик. При условии, что количество магнитов является четным, точное количество магнитов можно изменять. Например, в некоторых вариантах осуществления, присутствуют двенадцать магнитов и три линейных датчика Холла, разнесенные через интервалы по 40° механического поворота. В некоторых вариантах осуществления пересечения ряда синусоидальных графиков

ограничивают линейные участки графиков.

В некоторых вариантах осуществления конфигурация устройства предусматривает наличие печатной платы (ПП), включающей в себя схемы, обеспечивающие аналого-цифровое преобразование значений напряжения на ограниченных линейных участках графиков и обнаружение пересечений нуля графиков аналогового напряжения. В некоторых вариантах осуществления в схемах используется 11-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), выдающий 2048 равноотстоящих цифровых значений для каждого линейного участка графиков. Эти равноотстоящие цифровые значения для линейных участков графиков отображают разрешение системы. Понятно, что более низкого или более высокого разрешения можно достичь с помощью АЦП, имеющих большее или меньшее количество разрядов, в зависимости от желаемых функциональных возможностей для конкретного электродвигателя. В некоторых вариантах осуществления схемы воплощены в программируемой системе на кристалле (ПСнК). Ясно также, что для воплощения упомянутых схем можно использовать кристаллы без ПСнК, например программируемы пользователем логические матрицы (ППЛМ) и т.п.

В некоторых вариантах осуществления предложены способы кодирования электродвигателя постоянного тока с высокой степенью модульности, не требующие применения дополнительного аппаратного кодера или датчика, выдающего показания на основе положения, и/или фильтрации шума аналогового сигнала, используемого для управления смещением электродвигателя. Такие способы могут предусматривать установку статора на подложку, причем статор имеет узел катушек, имеющий сердечник и электрические обмотки, при этом узел катушек имеет наружный диаметр, ближнюю оконечность и дальнюю оконечность; установку ротора в статор, причем ротор имеет постоянные магниты, установленные на внешнюю периферию, которые выходят в конкретном направлении за пределы дальней оконечности сердечника (которое в типичном случае проходит, например, поперечно плоскости, в которой вращается ротор).

Способ дополнительно предусматривает эксплуатацию электродвигателя постоянного тока посредством коммутации, обуславливающей прохождение постоянных магнитов поверх упомянутого одного или более датчиков, расположенных на подложке рядом с постоянными магнитами. Эта эксплуатация приводит к получению одного или более синусоидальных графиков изменяющегося напряжения, по существу, без шума или насыщения, так что фильтрация шума аналогового сигнала не требуется. Способ также предусматривает определение положений ротора на основе линейных участков синусоидальных графиков.

В некоторых вариантах осуществления упомянутый один или более датчиков, установленных на подложку, позиционированы относительно расширенного края постоянных магнитов ротора так, что зазор от расширенного края постоянных магнитов до упомянутого одного или более датчиков достаточен для выдачи сигнала напряжения постоянного тока, по существу, без шума и/или насыщения. В некоторых вариантах осуществления напряжение составляет от примерно 2 до примерно 5 В постоянного тока. В некоторых вариантах осуществления расширенный край постоянных магнитов выходит за пределы дальней оконечности узла катушек примерно на 1 мм или более. В некоторых вариантах осуществления, упомянутый один или более датчиков являются линейными датчиками Холла. В некоторых вариантах осуществления, датчики отстоят друг от друга на одинаковую длину дуги вдоль дугообразной траектории ротора. В некоторых вариантах осуществления имеется четное количество постоянных магнитов, равномерно разнесенных вокруг цилиндрической юбки, причем ряд магнитов демонстрируют противоположную полярность на дальнем краю юбки, и три датчика Холла, выдающих напряжение, изменяющееся, по существу, синусоидально, при этом три графика сдвинуты по фазе примерно на 120° .

В некоторых вариантах осуществления имеются двенадцать магнитов и три линейных датчика Холла, разнесенных на расстояния с приращениями примерно по 20° механического поворота. В некоторых вариантах осуществления датчики отстоят друг от друга на удовлетворительное радиальное расстояние, такое как любое расстояние между 0 и 90° (скажем, примерно 20° , примерно 40° или примерно 60° механического поворота). В некоторых вариантах осуществления пересечения ряда синусоидальных графиков ограничивают линейные участки графиков, причем на этих линейных участках, по существу, нет шума. В некоторых вариантах осуществления, подложка представляет собой печатную плату (ПП), включающую в себя схемы, конфигурация которых обеспечивает аналого-цифровое преобразование значений напряжения на ограниченных линейных участках графиков и обнаружение пересечений нуля графиков аналогового напряжения. В некоторых вариантах осуществления в схемах используется 11-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), выдающий 2048 равноотстоящих цифровых значений для каждого линейного участка графиков. В некоторых вариантах осуществления схемы воплощены в программируемой системе на кристалле (ПСнК).

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлен чертеж на виде в плане, иллюстрирующий элементы бесщеточного электродвигателя постоянного тока в возможном варианте осуществления данного изобретения.

На фиг. 2А представлен вертикальный вид сбоку, частично - в сечении, электродвигателя, изображенного на фиг. 1, установленного на подложке.

На фиг. 2В представлен вертикальный вид в увеличенном масштабе области 2b, показанной на фиг. 2А, иллюстрирующий промежуток между магнитами и датчиками в возможном варианте осуществления изобретения.

На фиг. 3А представлен вид в плане подложки (201) согласно фиг. 2В со снятым электродвигателем, иллюстрирующий размещение датчиков в возможном варианте осуществления изобретения.

На фиг. 3В изображено размещение постоянных магнитов в роторе в структуре с чередующейся полярностью на дальнем краю и показаны краевые поля соседних постоянных магнитов в соответствии с возможным вариантом осуществления изобретения.

На фиг. 4 изображен, по существу, синусоидальный график изменяемого напряжения, вырабатываемого за счет прохождения постоянных магнитов ротора электродвигателя поверх первого датчика Холла в возможном варианте осуществления изобретения.

На фиг. 5 изображен синусоидальный график изменяемого напряжения, вырабатываемого за счет прохождения постоянных магнитов ротора электродвигателя поверх второго датчика Холла, причем этот график наложен поверх графика согласно фиг. 4.

На фиг. 6 изображен синусоидальный график изменяемого напряжения, вырабатываемого за счет прохождения постоянных магнитов ротора электродвигателя поверх третьего датчика Холла, причем этот график наложен поверх графиков согласно фиг. 5.

На фиг. 7 представлена копия графиков напряжения согласно фиг. 6 с дополнительными указаниями, чтобы проиллюстрировать процесс использования графиков с целью очень точного и детализированного кодирования электродвигателя постоянного тока.

На фиг. 8 изображены прямолинейные сегменты между точками пересечения согласно фиг. 7 для использования при определении смещения в возможном варианте осуществления изобретения.

На фиг. 9 представлен чертеж, где изображены схемы в возможном варианте осуществления изобретения, предназначенные для управления электродвигателем постоянного тока с помощью выходных сигналов датчиков Холла.

На фиг. 10 представлена схема управления, предусматривающая использование пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) управление с целью управления широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и направлением привода механизма электродвигателя.

На фиг. 11 изображен способ определения смещения электродвигателя во время эксплуатации в соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения.

Подробное описание вариантов осуществления

На фиг. 1 представлен чертеж на виде в плане, иллюстрирующий элементы бесщеточного электродвигателя постоянного тока (БЭДПТ), обозначенного позицией 100, в качестве неограниченного возможного прототипа. Очевидно, что такой электродвигатель можно использовать в самых разнообразных приложениях и он представляет собой конкретный случай эксплуатации малогабаритного механического агрегата, требующей высокого уровня точности и гранулярности. Несколько вариантов осуществления включают в себя систему электродвигателя, имеющую повышенное разрешение при определении смещения электродвигателя без применения аппаратных кодеров и/или фильтрации шума, например разрешение, составляющее примерно $0,1^\circ$ механического поворота, или предпочтительно составляющее примерно $0,01^\circ$ механического поворота, или даже составляющее примерно $0,001^\circ$ механического поворота или менее. Одним таким приложением является эксплуатация привода шприца для осуществления высокоточного дозирования текучей среды или эксплуатация узла клапана системы для диагностического анализа, которая взаимодействует с кассетой пробы, чтобы облегчить комплексную процедуру обработки и/или анализа пробы при точно настроенном перемещении узла клапана. Примеры таких приложений можно найти в одновременно поданной заявке на патент под названием "Molecular Diagnostic Assay System", заявке на патент США № 13/843739 под названием "Honeycomb tube", патенте США № 8048386 под названием "Fluid Processing and Control" и патенте США № 6374684 под названием "Fluid Control and Processing System", каждый из которых во всей полноте включен сюда посредством ссылки во всех отношениях.

В одном аспекте БЭДПТ включает в себя ротор, статор и множество аналоговых датчиков напряжения, конфигурация которых обеспечивает выработку плавно изменяющегося напряжения, соответствующего эффекту Холла, без какой-либо потребности в фильтрации или подавлении шума. В некоторых вариантах осуществления эта особенность обеспечивается за счет применения постоянных магнитов в пределах ротора, которые выступают на некоторое расстояние за пределы магнитного сердечника статора. В некоторых вариантах осуществления БЭДПТ включает в себя столько же аналоговых датчиков напряжения, сколько фаз у электродвигателя, и эти датчики расположены так, что управлять электродвигателем можно, по существу, на основе только линейного участка графиков измеряемого напряжения, получаемых из датчиков. В некоторых вариантах осуществления это управление предусматривает радиальный промежуток между датчиками и статором вокруг него, так что линейные участки сигналов измеряемого напряжения пересекаются. Например, трехфазный БЭДПТ может включать в себя три датчика Холла, радиально разнесенные друг от друга на 40° , тем самым давая системе возможность управлять поло-

жением датчика в пределах приращения 40° .

В нижеследующем описании изобретение описывается со ссылками на конкретные варианты его осуществления, но специалисты в данной области техники поймут, что изобретение ими не ограничивается. В том смысле, в каком термин "примерно" употребляется на всем протяжении описания, он может относиться к диапазону $\pm 10\%$ от указываемого значения. Различные признаки и аспекты вышеописанного изобретения можно использовать по отдельности или вместе. Следует понять, что любой из аспектов или признаков описываемых здесь вариантов осуществления можно было бы модифицировать или ввести в любой из описываемых здесь вариантов осуществления, а также в варианты осуществления разных других типов и конфигураций. В рамках шире толкуемого существа и объема притязаний согласно описанию изобретение также применимо в любом количестве сред и приложений помимо описываемых здесь.

Соответственно описание и чертежи следует считать иллюстративными, а не ограничительными.

В некоторых вариантах осуществления, таких как показанный на фиг. 1, электродвигатель включает в себя внутренний узел 101 статора, имеющий девять полюсных зубцов, простирающихся радиально от центра, причем каждый полюсный зубец оканчивается полюсным башмаком 103 и каждый полюсный зубец имеет обмотки, обеспечивающие электромагнитную катушку 102. Электродвигатель дополнительно включает в себя наружный ротор 104, имеющий наружную цилиндрическую юбку 105 и двенадцать постоянных магнитов 106, скомпонованные с чередующейся полярностью вокруг внутренней периферии юбки 105. Постоянным магнитам придана форма, обеспечивающая цилиндрическую внутреннюю поверхность для ротора, находящуюся в непосредственной близости к внешним криволинейным поверхностям полюсных башмаков. В этом примере БЭДПТ представляет собой трехфазный электродвигатель с двенадцатью полюсами. Средства управления, предусмотренные, но не показанные на фиг. 1, переключают ток в катушках 102, обеспечивая электромагнитное взаимодействие с постоянными магнитами 106 для привода ротора, как должно быть известно специалисту в данной области техники. Хотя здесь описываются внутренний статор и наружный ротор, следует понять, что этот подход также можно использовать электродвигатель, имеющий внутренний ротор и внутренний статор.

Следует отметить, что количество полюсных зубцов и полюсов, а также состоящая из внутреннего статора и наружного ротора оболочка на самом деле являются лишь возможными, а не ограничительными, в этом изобретении, которое работоспособно с электродвигателями множества разных конструкций.

На фиг. 2А представлен вертикальный вид сбоку, частично - в сечении, электродвигателя, изображенного на фиг. 1, установленного на подложке, с вырезом, сделанным для того, чтобы показать один полюсный зубец и одну катушку из девяти, оканчивающиеся полюсным башмаком 103 в непосредственной близости к одному из двенадцати постоянных магнитов 106, расположенных вокруг внешней периферии цилиндрической юбки 105 наружного ротора 104. Полюсные зубцы и полюсные башмаки узла 101 статора являются частью сердечника и определяют дальнюю оконечность сердечника на высоте линии 204. Узел 101 статора в этом воплощении опирается на подложку 201, которая в некоторых вариантах осуществления представляет собой печатную плату (ПП), которая может предусматривать блок управления и токопроводящие дорожки, конфигурация которых обеспечивает управление переключением электрического тока, поступающего в катушки 102, тем самым обеспечивая электромагнитные поля, взаимодействующие с полями постоянных магнитов 106 для привода ротора. Подложка-ПП также может включать в себя схемы управления для кодирования и коммутации. Ротор 104 физически находится в контактом взаимодействии со статором 101 посредством вала 107 привода, который осуществляет контактное взаимодействие в подшипниковом узле в статоре, вследствие чего достигается точное направление ротора при вращении. Подробности подшипников на фиг. 2А не показаны, хотя очевидно, что возможно воплощение таких подшипников многими обычными способами. Вал 107 привода в этом воплощении проходит сквозь отверстие, проделанное с этой целью в ПП 107, и может осуществлять контактное взаимодействие с механическими источниками привода.

На фиг. 2А изображены три линейных датчика 202a, 202b и 202c на Холл-эффекте, опертые на ПП 201 и стратегически расположенные в соответствии с некоторыми вариантами осуществления таким образом, что вырабатывают сигналы изменяемого напряжения, которые можно использовать в процессе кодирования и обеспечения коммутации для электродвигателя 100. На фиг. 2А общая высота юбки 105 ротора 104 представлена размером D. Размер d1 представляет протяженность дальней оконечности магнитов ротора ниже дальней оконечности магнитного сердечника по линии 204. В некоторых вариантах осуществления направление этой протяженности является поперечным (в типичном случае - перпендикулярным) плоскости, в которой вращается ротор.

На фиг. 2В представлен вертикальный вид в увеличенном масштабе области 2b согласно фиг. 2А, иллюстрирующий зазор d2 между дальним краем постоянных магнитов ротора 104 и конструктивными корпусами датчиков 202a, 202b и 202c на Холл-эффекте, расположенных на ПП 201.

На фиг. 3А представлен вид в плане участка подложки 201, рассматриваемой в направлении стрелки 3 согласно фиг. 2А, иллюстрирующий размещение датчиков 202a, 202b и 202c Холла, находящихся на участке ПП 201, рассматриваемом в направлении стрелки 3 согласно фиг. 2А, и иллюстрирующий раз-

мещение относительно дальнего края ротора 104, который, как можно увидеть на фиг. 2, простирается ниже дальнего края сердечника на расстояние, соответствующее размеру d . На фиг. 3 дорожка вращения ротора 104, включающего в себя двенадцать постоянных магнитов 106, показана пунктирным контуром 302. Ротор вращается в одном из двух направлений 303 в зависимости от подробностей коммутации. Ясно, что вышеописанными подходами можно воспользоваться безотносительно направления вращения ротора.

Как иллюстрируется в этом неограничительном возможном прототипе, каждый из датчиков 202a, 202b и 202c Холла расположен под дальним краем магнитов ротора, оказываясь радиально направленным строго внутрь центральной дорожки вращающихся магнитов. Датчик 202b Холла находится на расстоянии по дуге, составляющей 40° , от датчика 202a Холла вдоль дорожки вращения магнитов ротора. Аналогичным образом датчик Холла 202c находится на расстоянии по дуге, составляющей еще 40° , от датчика 202b Холла.

На фиг. 3В представлено перспективное изображение трех постоянных магнитов 106 относительно двух датчиков 202a и 202b Холла в этом неограничительном возможном прототипе. Постоянные магниты в роторе размещены с чередующейся полярностью, как показано на фиг. 3В, а на дальнем краю ротора демонстрируются краевые поля 304 между соседними постоянными магнитами. Это именно те краевые поля между соседними постоянными магнитами, для измерения которых и устанавливают аналоговые датчики (например, датчики Холла), а криволинейность внутренних поверхностей постоянных магнитов диктует размещение датчиков Холла несколько изнутри в радиальном направлении от центральной дорожки магнитов при вращении. Датчики Холла можно смещать внутрь на малое расстояние, такое как 1 мм или более (например, 2, 3, 4 мм), в зависимости от габаритов устройства и предписываемой напряженности магнитных полей. Пространство между датчиками и постоянными магнитами (т.е. d_2) выгодно минимизировать, чтобы, по существу, исключить шум при обнаружении сигнала.

Возвращаясь к фиг. 2А, отмечаем, что размер d_1 обозначает расстояние протяженности дальней оконечности магнитов ротора ниже дальней оконечности сердечника по линии 204. В традиционных электродвигателях нет причин или мотивации продолжать этот край ниже оконечности сердечника, в частности, поскольку это может привести к увеличению высоты электродвигателя и к необходимости увеличенного зазора между ротором и подложкой. Фактически квалифицированному специалисту приходится ограничивать размер D , чтобы такого продолжения не было, поскольку дополнительный размер привел бы лишь к дополнительным затратам и громоздкости применительно к обычному электродвигателю. Помимо этого в обычных электродвигателях на дальней оконечности ротора - на некоторой высоте от дальней оконечности сердечника или над ней - переключение тока в катушках 102 создает значительный полевой эффект, а сигнал из датчиков Холла, установленных для восприятия постоянных магнитов в таком положении, не давал бы плавно изменяющееся напряжение эффекта Холла. Скорее, этот эффект в обычном электродвигателе будет существенно искажен шумом. Традиционный подход к этой дилемме заключается во введении фильтрации шума, или - что более распространено - в использовании кодера.

Продолжение магнитов ротора ниже дальней оконечности железного сердечника преимущественно позволяет избежать искажающего воздействия переключающих полей, генерируемых катушками статора, на основе сигнала из датчиков Холла. Конкретная протяженность d_1 будет зависеть от нескольких факторов, особых для конкретной компоновки электродвигателя, и в некоторых вариантах осуществления будет составлять 1 мм или более (например, 2, 3, 4, 5, 6 мм или более), а в некоторых других вариантах осуществления упомянутая протяженность будет составлять менее 1 мм. В некоторых вариантах осуществления расстояние зависит от размера постоянных магнитов и/или напряженности магнитного поля. В некоторых вариантах осуществления возможного прототипа, подробно описываемых здесь, протяженность 1 мм достаточна для выработки синусоидального сигнала изменяемого напряжения без шума или насыщения. Размещение датчиков Холла на разделяющем расстоянии d_2 для выработки напряжения эффекта Холла дает плавно изменяемое напряжение без шума. В некоторых вариантах осуществления датчики Холла вырабатывают плавно изменяемое напряжение постоянного тока в диапазоне от примерно 2 В до примерно 5 В без шума или насыщения. Размер d_2 может изменяться в зависимости от выбора датчика, конструкции ротора, напряженности постоянных магнитов в роторе и других факторов, которые хорошо известны специалистам в данной области техники. Во избежание насыщения датчика и для выработки плавно изменяемого напряжения постоянного тока, по существу, без шума, легко найти некоторое работоспособное разделяющее расстояние для любой конкретной окружности.

На фиг. 4 изображен, по существу, синусоидальный график 401 изменяемого напряжения, вырабатываемого за счет прохождения постоянных магнитов 106 ротора 104 электродвигателя поверх датчика 202a Холла в трехфазном БЭДПТ. Начальную точку 0° произвольно устанавливают в точке максимального напряжения. Три полных синусоидальных сигнала вырабатываются за один полный оборот ротора на 360° .

На фиг. 5 изображен синусоидальный график 501 изменяемого напряжения, вырабатываемого за счет прохождения постоянных магнитов 106 ротора 104 электродвигателя поверх датчика 202b Холла, причем этот график 501 наложен поверх графика 401 согласно фиг. 4. Поскольку датчик 202b Холла расположен на расстоянии длины дуги 40° от положения датчика 202a Холла, синусоидальный график 501

сдвинут по фазе на 120° от синусоидального графика 401.

На фиг. 6 изображен, по существу, не содержащий шум синусоидальный график 601 изменяемого напряжения, вырабатываемого за счет прохождения постоянных магнитов 106 ротора 104 электродвигателя поверх датчика 202с Холла, причем этот график 601 наложен поверх графиков 401 и 501 согласно фиг. 5. Поскольку датчик 202с Холла расположен на расстоянии длины дуги 40° в от положения датчика 202b Холла, синусоидальный график 501 сдвинут по фазе на 120° от синусоидального графика 501. Графики повторяются через каждые 360° вращения ротора.

На фиг. 7 представлена копия графиков напряжения согласно фиг. 6 с дополнительными указаниями, чтобы проиллюстрировать процесс использования графиков для очень точного и детализированного кодирования электродвигателя 100 постоянного тока. Каждый из трех графиков 401, 501 и 601 напряжения имеет по существу одинаковые пики максимума и минимума, так как датчики Холла идентичны и воспринимают одинаковые краевые магнитные поля на одинаковых расстояниях. Более того графики 401, 501 и 601 пересекаются во многочисленных точках, таких как точки 701, 702, 703 и 704, являющиеся примерами. Заметно, что сегменты графиков между точками пересечения представляют собой, по существу, прямые линии. Эти прямолинейные сегменты подчеркнуты на фиг. 7, и можно заметить, что здесь представлена бесконечная повторяющаяся последовательность соединенных прямолинейных сегментов. Помимо этого, можно замерить и зарегистрировать точки пересечения нуля для каждого прямолинейного сегмента, а также пики максимумов и минимумов для каждого графика.

На фиг. 8 изображены два прямолинейных сегмента между точками 701, 702 и 703 пересечения. В качестве неограничительного примера отметим, что сегмент между точками 701 и 702 пересечения показан разделенным на 20 сегментов равной длины, что обычно можно сделать путем измерения напряжения в точках 701 и 702 пересечения, и это - простое решение. Поскольку физический поворот ротора от одного пересечения графиков к другому составляет 20° при вращении электродвигателя, тогда каждое изменение напряжения на расчетную величину представляет собой $20/20$, т.е. $1,00^\circ$ поворота ротора. Это лишь один пример для иллюстрации способа. В некоторых вариантах осуществления изобретения схемы на ПП 201 воспринимают точки пересечения и делятся 11-разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) между пересечениями, что дает 2048 подсчетов. В этом воплощении поступательное движение при механическом вращении ротора 205 на протяжении каждого подсчета составляет примерно $0,0098^\circ$. Разрешение системы можно увеличить (или уменьшить), используя АЦП с разрешением, обуславливаемым большей или меньшей разрядностью. Например, использование 8-разрядного АЦП позволило бы для каждого подсчета получить разрешение до примерно $0,078^\circ$, использование 16-разрядного АЦП позволило бы для каждого подсчета получить разрешение до примерно $0,00031^\circ$, а использование 20-разрядного АЦП позволило бы для каждого подсчета получить разрешение до примерно $0,00002^\circ$. В альтернативном варианте увеличение или уменьшение количества полюсов будет соответственно увеличивать или уменьшать разрешение системы.

В некоторых вариантах осуществления вышеописанные подходы обеспечивают высокую степень достоверности и точности для механизмов, привод которых осуществляет электродвигатель 100, причем в вышеописанном примере использования 11-разрядного АЦП положением электродвигателя можно управлять с механическим разрешением $0,0005^\circ$. В связи со снижением передаточного отношения можно достичь исключительно точного управления поступательным движением и вращением механизмов. В некоторых вариантах осуществления, электродвигатель 100 подключен к приводу поступательного движения для узла "шприц-насос" с целью забора и выпуска текучей среды в ходе аналитических химических процессов.

На фиг. 9 представлен чертеж, где изображены схемы в возможном варианте осуществления изобретения, предназначенные для управления электродвигателем 100 постоянного тока с помощью выходных сигналов датчиков Холла и осуществления особого способа анализа только линейных участков сдвинутых по фазе кривых, созданных датчиками, причем линейные участки разделены на равные сегменты, деление на которые описано выше. Выходные сигналы датчиков 202a, 202b Холла выдаются в схемы пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) управления с целью коммутации, а сигналы, вырабатываемые за счет взаимодействия магнитов ротора с датчиками Холла, выдаются в схемы мультиплексирования, как показано на фиг. 9. В некоторых вариантах осуществления смещением электродвигателя можно управлять на основе линейных участков (например, зигзагообразных), получаемых из двух или более синусоидальных кривых напряжения, измеряемого двумя или более датчиками электродвигателя.

На фиг. 10 представлена схема управления, отображающая управление регулированием широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и направлением привода механизма электродвигателя с помощью ПИД-контроллера. ПИД-контроллер включает в себя входы желаемого положения смещения электродвигателя, а также измеряемого положения. Хотя в обычных устройствах измеряемое положение кодера обеспечивается аппаратным кодером или датчиком показаний, основанных на положении, в некоторых вариантах осуществления этот входной сигнал может обеспечиваться линейными участками измеряемых напряжений из аналоговых датчиков, не требуя применения никакого аппаратного датчика или датчика

показаний, основанных на положении. Таким образом, описываемый здесь подход обеспечивает определение входного сигнала, который обычно обеспечивается аппаратным кодером, без какого-либо изменения конфигурации управления. Вместе с тем ясно, что блок обработки можно было бы адаптировать для определения входного сигнала положения кодера.

На фиг. 11 изображен способ в соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения. Способ предусматривает эксплуатацию электродвигателя постоянного тока, имеющего ротор с постоянными магнитами, распределенными вокруг внешней периферии, и статор, имеющий магнитный сердечник. Во время эксплуатации электродвигателя система получает аналоговый синусоидальный сигнал от каждого из упомянутых по меньшей мере двух аналоговых датчиков в фиксированном положении относительно статора, причем датчики отстоят друг от друга, так что синусоидальные сигналы смещены друг от друга. Система может включать в себя несколько аналоговых датчиков, таких как датчики Холла, равномерно распределенные вдоль, по меньшей мере, участка траектории вращения электродвигателя. В некоторых вариантах осуществления такая конфигурация включает в себя по меньшей мере три таких датчика, отделенных друг от друга дугой примерно 40° , как показано на фиг. 3А. Тогда система определяет смещение электродвигателя на основе линейных участков синусоидальных сигналов, сдвинутых по фазе друг относительно друга. Система может использовать смещение электродвигателя для информирования о различных других процессах или функциях системы, или смещение можно использовать для управления электродвигателем за счет использования контура управления, который предусматривает смещение электродвигателя в качестве входного сигнала для контроллера, такого как ПИД-контроллер. В некоторых аспектах этот подход можно использовать для облегчения работы или достижения точно настроенной работы малогабаритного клапанного механизма или механизма привода шприца в системе для диагностического анализа или другой такой системе гидравлической обработки.

Как описано выше, в неограниченных возможных вариантах осуществления, чтобы получить разделение прямых участков сдвинутых по фазе сигналов, используют АЦП и электродвигатель 100, возбуждение которого осуществляет например схема DRV8313 драйвера электродвигателя от фирмы Texas Instruments. Понятно, что в рамках этого подхода есть и другие компоновки схем, которыми можно было бы воспользоваться. В некоторых вариантах осуществления схемы и кодированные команды для измерения сигналов датчиков Холла и обеспечения кодирования электродвигателя можно воплотить в программируемой системе на кристалле (ПСнК) на ПП.

Ясно, что в рамках объема притязаний изобретения в варианты осуществления можно внести множество изменений. Например, в альтернативные варианты осуществления изобретения можно было бы включить электрические двигатели разных конструкций и управлять ими по-разному, размещая датчики с возможностью генерирования, по существу, синусоидальных сдвинутых по фазе сигналов таким образом, что схемы будут учитывать лишь, по существу, прямые участки результирующих пересекающихся кривых, причем дополнительное разрешение обеспечивается путем разделения прямых участков на сегменты разной длины, фактически разделяя приращения напряжения на равные известные сегменты, ассоциируемые с долями оборота ротора или статора, в зависимости от механической конструкции электродвигателя.

Несколько неограниченных возможных применений и приложений для электродвигателя постоянного тока в соответствии с изобретением включают в себя следующие.

Диагностические приложения. С нарастанием применения роботизации для использования при высокопроизводительной обработке проб текучих сред и осуществлении диагностических анализов управление высоким разрешением механических агрегатов стало исключительно полезным. В частности, поскольку диагностические устройства развивались в направлении получения малогабаритных и микроскопических устройств, которые оказываются эффективнее и требуют меньших размеров проб, управление мелкомасштабными перемещениями представляют конкретный интерес.

Медицинские приложения. С нарастанием применения роботизации для методов дистанционной хирургии исключительно хорошее управляемое перемещение согласно дистанционно управляемым воплощениям стало существенным. Например, это имеет место в офтальмологических или неврологических процедурах, где манипулирование клетками сетчатки или нервными окончаниями требует перемещений с микроскопическим разрешением. Чтобы осуществить эти перемещения, которые значительно мельче, чем может совершать рука человека с помощью координации глазами, для перемещения исполнительных механизмов синхронно с обратной связью от подходящих датчиков используют компьютеры. Описываемому здесь электродвигателю с возможностями кодирования при позиционировании с высоким разрешением, а значит, и хирургу в этих затруднительных процедурах может помочь компьютер.

Изготовление полупроводников. Системы для изготовления полупроводниковых устройств основаны на точном перемещении кремниевой подложки и рук-манипуляторов. Эти перемещения регулируют посредством обратной связи по положению. В этих приложениях пригоден описанный здесь электродвигатель с возможностями кодирования при позиционировании с высоким разрешением.

Аэрокосмическая и спутниковая телеметрия. Обратную связь по угловому позиционированию с высоким разрешением можно использовать для точного целеуказания и для позиционирования антенн. В частности, для точного слежения за спутниками, движущимися по орбитам, необходимы тарелки антенн

спутниковой связи. Траектория спутника в сочетании с точной обратной связью по углу от описываемого здесь электродвигателя, установленного на антенну, и энергетическим спектром, получаемым от антенны, может способствовать прецизионному слежению. В дополнение к этому, поскольку описываемый здесь электродвигатель мал, недорог и стоек к внешним воздействиям, он является идеальным выбором для использования на спутниках и в других внеземных приложениях, которые хорошо известны специалистам в данной области техники.

Дистанционно управляемые транспортные средства. Малые габариты и сниженная стоимость описанного здесь электродвигателя делают его желательным для применения в приложениях, связанных с дистанционно управляемыми транспортными средствами, включая дроны. В частности, присущие электродвигателю признаки кодирования позиционирования с высоким разрешением делают его идеальным для рулевого управления (управления по направлению) и управления ускорением (управления по мощности) для применения в дистанционно управляемых транспортных средствах, как в коммерческих, так и в рекреационных целях.

В дополнения к вышеизложенному специалист в данной области техники должен знать о том, что существует множество способов компоновки для обеспечения детального управления электродвигателем, который оснащен и параметры которого замеряются вышеупомянутым образом. Изобретение ограничивается нижеследующей формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Электрический двигатель постоянного тока, содержащий статор, установленный на подложку, причем статор содержит

узел катушек, имеющий сердечник из магнитного материала и электрические обмотки, при этом узел катушек имеет наружный диаметр, ближнюю оконечность и дальнюю оконечность;

ротор, установленный на статор, причем ротор содержит постоянные магниты, установленные на цилиндрическую юбку, при этом ротор имеет наружный диаметр, внутренний диаметр и дальний край, причем постоянные магниты выходят за пределы дальней оконечности сердечника из магнитного материала;

множество датчиков, установленных на подложку рядом с постоянными магнитами, при этом множество датчиков установлено на стороне подложки, обращенной к постоянному магниту, с промежутком между каждым из множества датчиков и постоянными магнитами, причем смещение электрического двигателя постоянного тока определяется по сигналу от множества датчиков,

при этом во время эксплуатации электрического двигателя постоянного тока прохождение постоянных магнитов поверх каждого из множества датчиков приводит к выработке синусоидального сигнала изменяющегося напряжения без шума и/или насыщения; и

блок управления, выполненный с возможностью управления электрическим двигателем постоянного тока с использованием выходного сигнала от множества датчиков посредством

приема множества сигналов измеренного напряжения от множества датчиков во время вращения ротора, причем каждый сигнал напряжения является синусоидальным и имеет линейный участок;

определения смещения электрического двигателя только по синусоидальным сигналам, включающим в себя свои линейные участки, без применения аппаратного кодера.

2. Электрический двигатель постоянного тока по п.1, в котором множество датчиков, установленных на подложку, позиционированы относительно расширенного края постоянных магнитов с зазором от расширенного края постоянных магнитов до упомянутого множества датчиков, достаточным для выработки напряжения постоянного тока от 2 до 5 В без шума и/или насыщения.

3. Электрический двигатель постоянного тока по п.2, в котором расширенный край постоянных магнитов выходит за пределы дальней оконечности узла катушек на 1 мм или более.

4. Электрический двигатель постоянного тока по п.1, в котором множество датчиков являются линейными датчиками Холла, отстоящими друг от друга на одинаковую длину дуги вдоль дугообразной траектории ротора.

5. Электрический двигатель постоянного тока по п.4, содержащий четное количество постоянных магнитов, равномерно разнесенных вокруг цилиндрической юбки, причем соседние магниты расположены, демонстрируя противоположную полярность, на дальнем краю юбки, и три датчика Холла, каждый из которых вырабатывает напряжение, изменяющееся синусоидально, таким образом генерируя три графика, сдвинутых по фазе на 120° при эксплуатации электрического двигателя постоянного тока.

6. Электрический двигатель постоянного тока по п.5, содержащий двенадцать магнитов и три линейных датчика Холла, разнесенные через интервалы по 40° механического поворота.

7. Электрический двигатель постоянного тока по п.5, в котором пересечения соседних синусоидальных графиков из трех графиков ограничивают линейные участки этих трех графиков.

8. Электрический двигатель постоянного тока по п.6, в котором три графика являются графиками аналогового напряжения, причем подложка представляет собой печатную плату (ПП), содержащую схемы, обеспечивающие аналого-цифровое преобразование значений напряжения на ограниченных линей-

ных участках графиков и обнаружение пересечений нуля трех графиков аналогового напряжения.

9. Электрический двигатель постоянного тока по п.8, в котором в схемах используется 11-разрядный аналого-цифровой преобразователь, выдающий 2048 равноотстоящих цифровых значений для каждого линейного участка трех графиков, которые генерируются тремя датчиками Холла.

10. Электрический двигатель постоянного тока по п.8, в котором схемы воплощены в программируемой системе на кристалле.

11. Способ определения смещения электрического двигателя постоянного тока по любому из пп.1-10, при котором

устанавливают статор на подложку;

устанавливают ротор в статор;

позиционируют множество датчиков на подложку рядом с постоянными магнитами, выходящими за пределы дальней оконечности сердечника;

эксплуатируют электрический двигатель постоянного тока посредством коммутации, обуславливая прохождение постоянных магнитов поверх множества датчиков с получением множества синусоидальных графиков изменяющегося напряжения без шума или насыщения; и

определяют блоком управления электрического двигателя положения ротора только по множеству синусоидальных графиков, включая их линейные части, без применения аппаратного кодера.

12. Способ по п.11, при котором множество датчиков, установленных на подложку, позиционируют относительно расширенного края постоянных магнитов ротора так, что зазор от расширенного края до множества датчиков достаточен для выработки напряжения постоянного тока от 2 до 5 В без шума и/или насыщения.

13. Способ по п.12, при котором расширенный край постоянных магнитов выходит за пределы дальней оконечности узла катушек на 1 мм или более.

14. Способ по п.11, при котором множество датчиков являются линейными датчиками Холла, отстоящими друг от друга на одинаковую длину дуги вдоль дугообразной траектории ротора.

15. Способ по п.14, при котором применяют четное количество постоянных магнитов, равномерно разнесенных вокруг цилиндрической юбки, причем соседние магниты демонстрируют противоположную полярность на дальнем краю юбки, и три датчика Холла, при этом каждый датчик Холла вырабатывает напряжение, изменяющееся синусоидально, таким образом генерируя три графика, сдвинутых по фазе на 120° .

16. Способ по п.15, при котором применяют двенадцать магнитов и три линейных датчика Холла, разнесенных на расстояния с приращениями по 20° механического поворота.

17. Способ по п.15, при котором пересечения соседних синусоидальных графиков в указанных трех графиках ограничивают линейные участки этих трех графиков.

18. Способ по п.16, при котором три графика являются графиками аналогового напряжения, причем подложка представляет собой печатную плату, содержащую схемы, конфигурация которых обеспечивает аналого-цифровое преобразование значений напряжения на ограниченных линейных участках графиков и обнаружение пересечений нуля трех графиков аналогового напряжения.

19. Способ по п.18, при котором применяют в схемах 11-разрядный аналого-цифровой преобразователь, выдающий 2048 равноотстоящих цифровых значений для каждого линейного участка трех графиков, которые генерируются посредством трех датчиков Холла.

20. Способ по п.18, при котором схемы воплощают в программируемой системе на кристалле.

21. Электрический двигатель постоянного тока, содержащий

статор, содержащий узел катушек, имеющий магнитный сердечник;

ротор, который установлен с возможностью вращения относительно статора и имеет множество постоянных магнитов, распределенных радиально вокруг ротора;

множество датчиков, находящихся в фиксированных положениях относительно статора и размещенных рядом с путем множества магнитов во время вращения ротора; и

модуль обработки, подключенный с возможностью связи к множеству датчиков и выполненный с возможностью

приема множества сигналов измеренного напряжения от множества датчиков во время вращения ротора, причем каждый сигнал напряжения является синусоидальным и имеет линейный участок;

определения смещения электрического двигателя только по множеству сигналов напряжения, включающих в себя свои линейные участки, без применения аппаратного кодера или датчика показаний, основанных на положении, и/или без подавления шума или фильтрации сигнала.

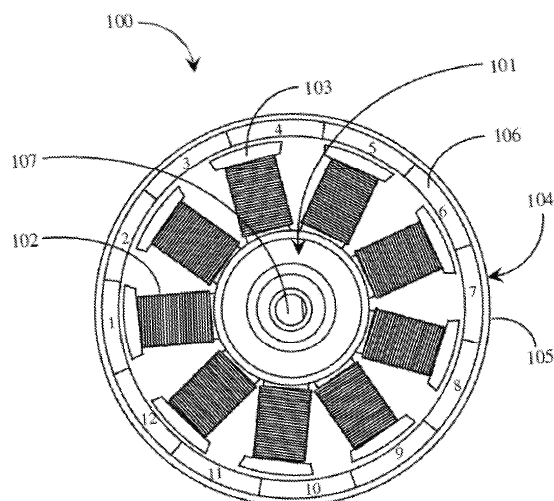
22. Электрический двигатель постоянного тока по п.21, в котором модуль обработки дополнительно выполнен с возможностью

приема сигнала измеряемого напряжения от каждого из множества датчиков во время вращения ротора, причем этот сигнал является синусоидальным сигналом изменяющегося напряжения во время вращения ротора; и

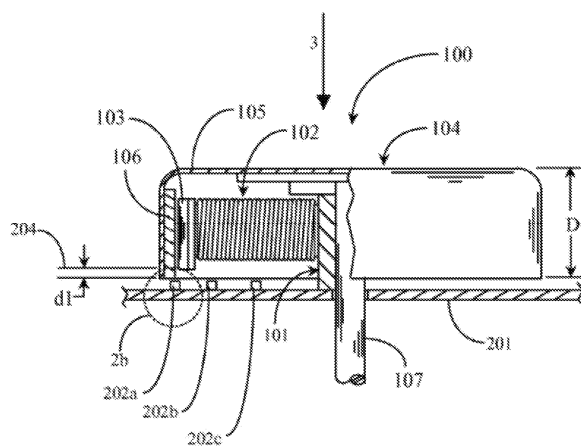
определения смещения электрического двигателя исходя только из линейных участков синусоидального сигнала от соответствующего датчика из множества датчиков.

23. Электрический двигатель постоянного тока по п.21, в котором множество магнитов выходят на некоторое расстояние за пределы магнитного сердечника статора, так что сигнал от множества датчиков не содержит шум.

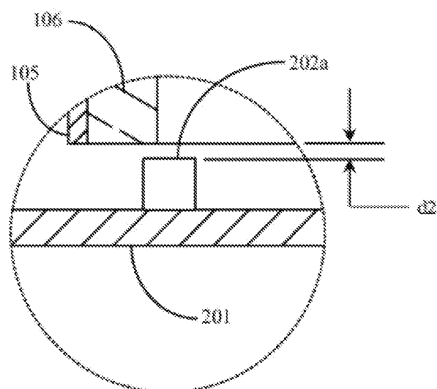
24. Электрический двигатель постоянного тока по п.21, в котором множество датчиков включают в себя по меньшей мере два датчика, распределенных вдоль пути множества магнитов таким образом, что линейные участки синусоидальных сигналов из соседних по меньшей мере двух датчиков пересекаются, чтобы обеспечить увеличенное разрешение и детальность объединенных линейных участков сигнала для определения смещения электрического двигателя.



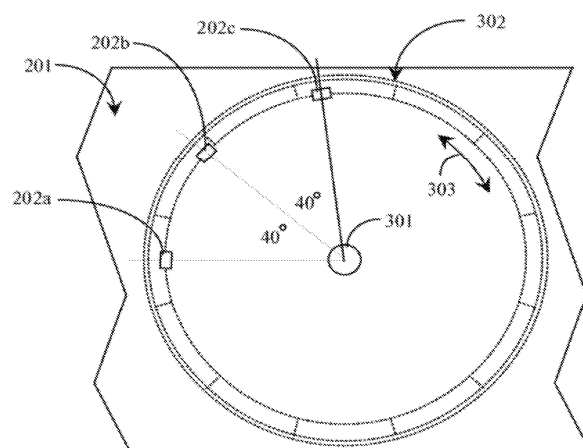
ФИГ. 1



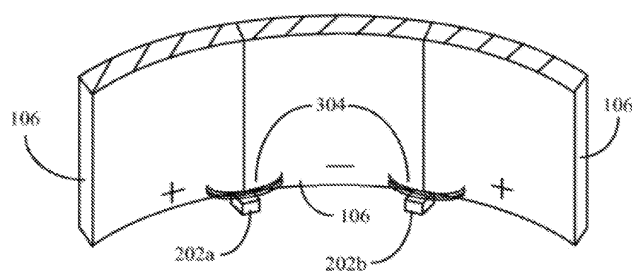
ФИГ. 2А



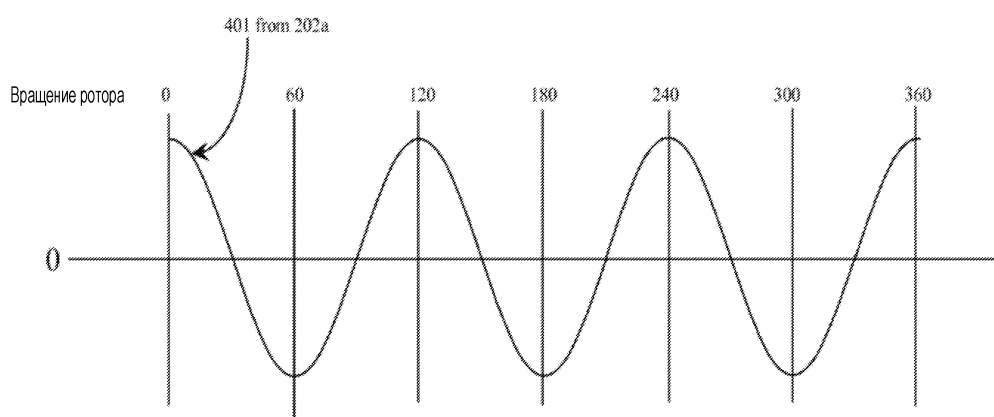
ФИГ. 2В



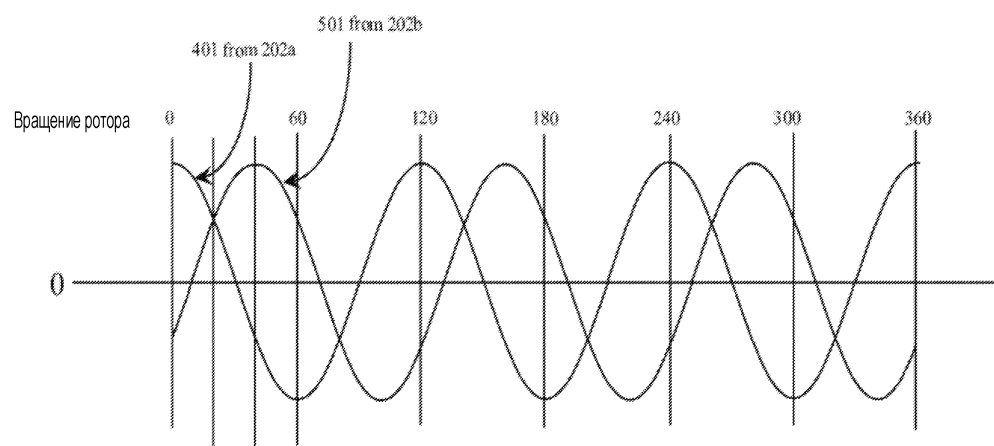
Фиг. 3А



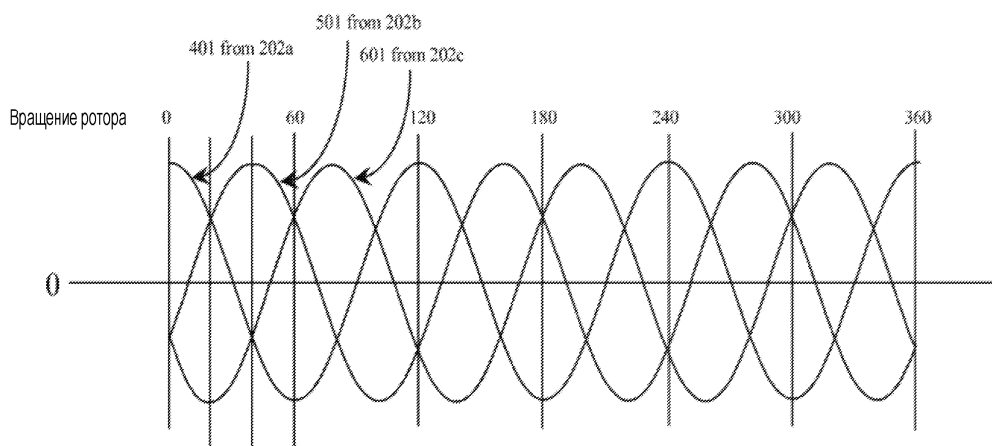
Фиг. 3В



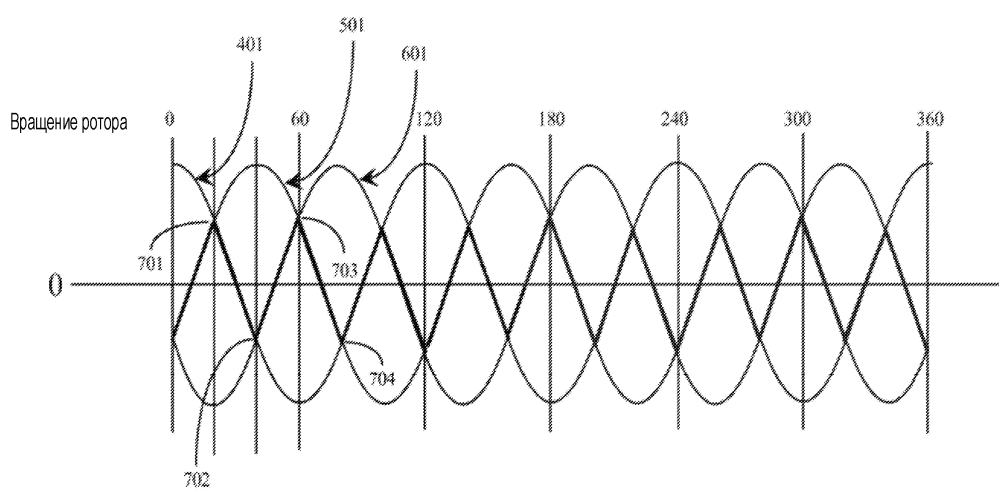
Фиг. 4



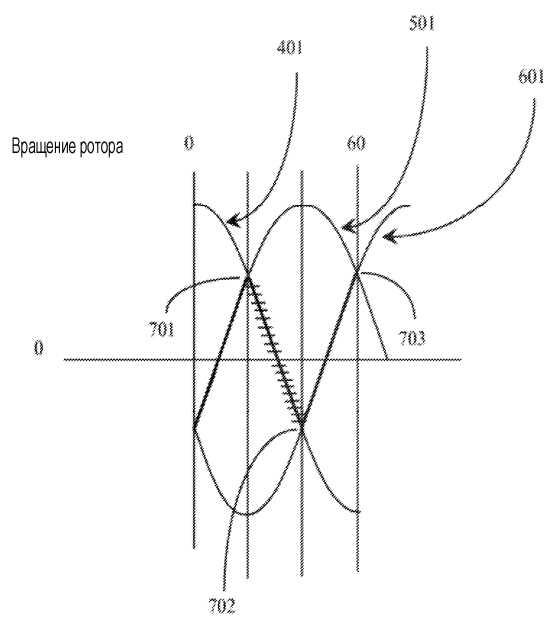
Фиг. 5



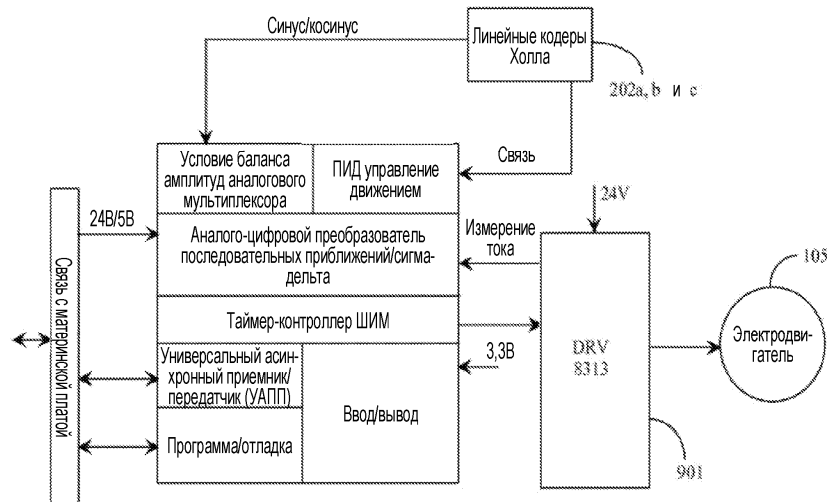
Фиг. 6



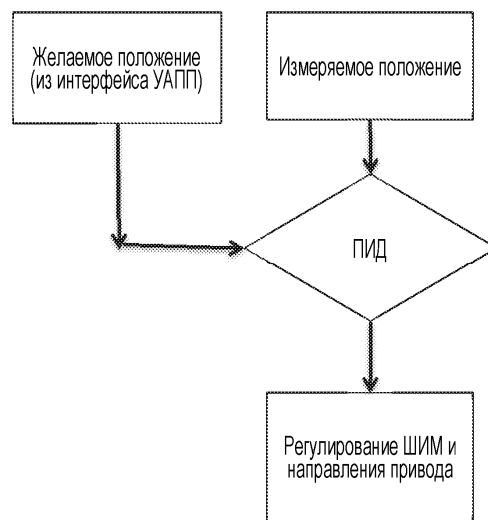
Фиг. 7



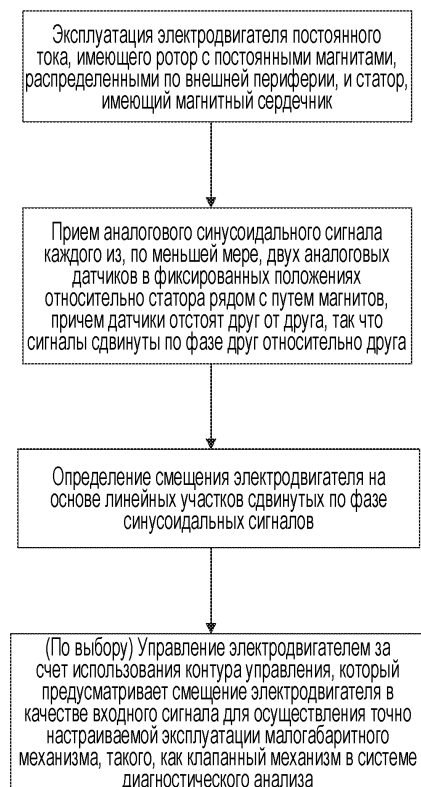
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

