

Электродвигатель (RU 2303536):

Авторы патента: Шкондин Василий Васильевич (RU)

Изобретение относится к электродвигателям, в частности безредукторным электродвигателям для транспортных средств, и может быть использовано в качестве мотор-колес в электроприводных велосипедах, инвалидных колясках, скутерах, мотоциклах, электроавтомобилях и т.д., а также в иных областях техники.

Широкое применение в технике, в том числе и на транспорте, нашли устройства снабжаемые редуктором и асинхронным электродвигателем. Указанные электродвигатели имеют ряд преимуществ по сравнению с двигателями внутреннего сгорания, являясь экологически чистыми, надежными и экономичными.

Наиболее перспективными являются безредукторные мотор-колеса, у которых вращение колеса вызывается непосредственно электромагнитным взаимодействием магнитных систем ротора и статора. Известно мотор-колесо, содержащее обод и ось со встроенным асинхронным электродвигателем (SU 628008 А, 15.10.1978). Электродвигатель выполнен в виде дисковой асинхронной электромашины, статор которой с магнитопроводом, обмотками и токопроводом закреплен на неподвижной оси колеса, а ротор с короткозамкнутой обмоткой и магнитопроводами, размещенными с двух сторон статора, образуют колесо, выполненное с возможностью вращения. Такая конструкция мотор-колеса обеспечивает большую надежность за счет отсутствия механического редуктора и имеет улучшенное по сравнению с традиционной конструкцией охлаждение за счет радиальных каналов, омываемых охлаждающей средой. Однако использование такого элемента как асинхронный двигатель приводит к высокому тепловыделению, требует сложной системы управления и высоковольтных источников питания. Кроме того, такое мотор-колесо не имеет перспективы рекуперации электроэнергии как при движении, так и при торможении транспортного средства.

Известен встроенный электродвигатель (WO 93/08999 А1, 13.05.93), содержащий две основные части: неподвижный статор, закрепленный на оси и имеющий магнитопровод с постоянными магнитами, размещенными равномерно; и подвижный ротор, несущий обод и содержащий по крайней мере две группы электромагнитов, а также распределительный коллектор, закрепленный на статоре и имеющий токопроводящие пластины, соединенные с источником постоянного тока. На роторе закреплены токосъемники, имеющие электрический контакт с пластинами распределительного коллектора.

Указанное мотор-колесо имеет различные модификации и варианты исполнения (US 6384496 В1, 07.05.2002; US 6617746 В1, 09.09.2003; RU 2129965 С1, 10.05.1999; RU 2172261 С1, 20.08.2001). К преимуществам такого устройства относятся отсутствие редуктора, использование низковольтных источников питания, отсутствие дополнительных электронных схем, возможность рекуперции энергии, небольшие габариты и вес. Комбинирование основных элементов мотор-колеса в сочетании с дополнительными устройствами позволяет создавать аналогичные по принципу работы и обладающие указанными преимуществами мотор-колеса.

Однако описанное мотор-колесо и его разновидности имеют ряд недостатков, главный из которых заключается в необходимости больших пусковых и переходных токов при трогании и ускорении транспортного средства. Это приводит к быстрому износу и порче аккумуляторов и ухудшению теплового режима. Другим недостатком является недостаточно эффективное возвращение и использование электроэнергии. Также названные электродвигатели имеют низкий крутящий момент, что существенно ограничивает область их практического использования.

Известные технические решения, направленные на устранение указанных недостатков, связаны с применением высоковольтных источников питания и сложных схем управления, что делает их дорогостоящими и малонадежными в эксплуатации (US 6791226 В1, 14.09.2004, US 6727668 В1, 27.04.2004, US 6355996 В1, 12.03.2002).

Настоящее изобретение направлено на улучшение эксплуатационно-технических характеристик электродвигателя, в первую очередь повышение его крутящего момента, при сохранении относительной простоты конструкции и надежности.

Автором изобретения было экспериментально установлено, что решение указанной задачи может быть обеспечено путем подбора определенного соотношения между числом электромагнитов ротора, постоянных магнитов статора и токопроводящих пластин распределительного коллектора, а также схемой подключения катушек электромагнитов к источнику питания.

Электродвигатель, в соответствии с настоящим изобретением, содержит статор с круговым магнитопроводом, на котором закреплено четное количество постоянных магнитов с одинаковым шагом, ротор, отделенный от статора воздушным промежутком, и несущий четное число электромагнитов, расположенных попарно напротив друг друга, распределительный коллектор, закрепленный на корпусе статора и имеющий расположенные по окружности токопроводящие пластины, соединенные с чередованием полярности с постоянным источником тока и разделенные диэлектрическими промежутками; токосъемники, связанные с ротором и установленные с возможностью контакта с пластинами коллектора, причем каждый из токосъемников подключен к одноименному выводу обмоток соответствующих электромагнитов.

Каждый из электромагнитов имеет по две катушки с последовательно встречным направлением обмотки, причем обмотки катушек смежных электромагнитов соединены последовательно, а выводы обмоток противоположных электромагнитов, не подключенные к токосъемникам, соединены между собой. Выводы обмоток противоположных электромагнитов, подключенные к токосъемникам, шунтированы конденсаторами таким образом, что катушки каждой пары диаметрально противоположных электромагнитов совместно с конденсатором образуют резонансный контур. Количество постоянных магнитов статора, равное n , и количество указанных резонансных контуров m удовлетворяют соотношениям: $n=10+4k$, $m=2+k$, где k - целое число, принимающее значения 0, 1, 2, 3 и т.д. Количество токопроводящих пластин в распределительном коллекторе равно числу постоянных магнитов статора, а осевые линии диэлектрических промежутков распределительного коллектора ориентированы по осевым линиям постоянных магнитов статора.

Такое соотношение числа электромагнитов, постоянных магнитов и пластин коллектора, их взаиморасположение и используемая схема коммутации электромагнитов обеспечивает резонанс токов текущих через обмотки диаметрально противоположных электромагнитов, и как следствие, уменьшает скачки напряжения (электропотребление) при трогании и разгоне электродвигателя и улучшает его динамические характеристики. Кроме того, такая конструкция электродвигателя позволяет максимально эффективно рекуперировать электроэнергию за счет возникновения противоЭДС при холостом ходе.

Емкость конденсаторов шунтирующих катушки электромагнитов должна быть согласована с индуктивностью этих катушек. Емкость обычно выбирают тем больше, чем больше суммарное число витков в катушках электромагнитов. Предпочтительно также, чтобы все резонансные контуры, образованные шунтирующими конденсаторами и обмотками соответствующих катушек, имели одинаковую резонансную частоту.

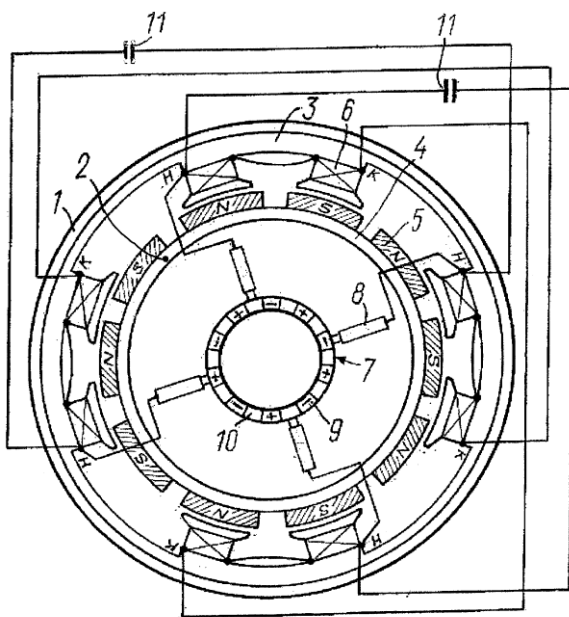
Общее число витков в обмотках катушек противоположных электромагнитов может быть различно. При этом резонансные явления усиливаются, если разница в количестве витков катушек диаметрально противоположных магнитов отличается друг от друга на кратную величину. Кратность между числом витков должна составлять величину $1/2^p$ от общего числа витков в одной из катушек, где $p=2, 3, 4, 5$, (то есть $1/4, 1/8, 1/16, 1/32$).

Практически ликвидировать искрение можно также путем выбора подходящего угла опережения между токосъемниками и токопроводящими пластинами коллектора. Поэтому обычно токосъемники устанавливают на электродвигателе с возможностью регулировки их положения относительно коллектора.

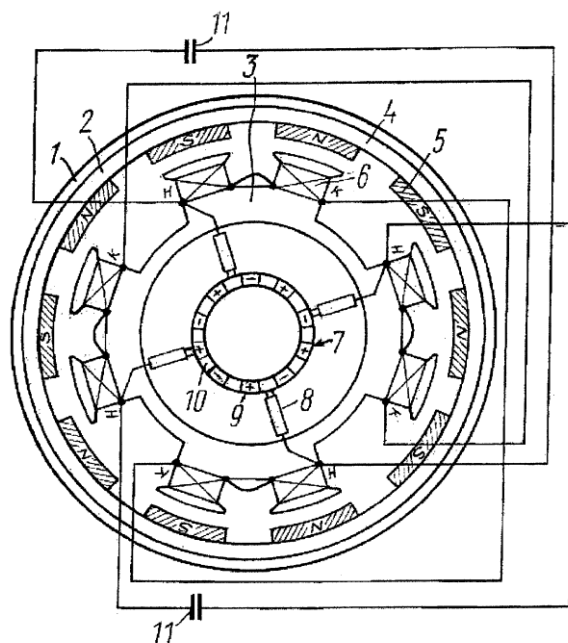
Конструктивно электродвигатель может быть выполнен так, что ротор будет расположен с внешней стороны статора или ротор будет расположен внутри статора.

Сущность изобретения поясняется следующими чертежами.

На фиг.1 изображена схема электродвигателя, выполненного в соответствии с настоящим изобретением, у которого статор электродвигателя расположен внутри ротора;



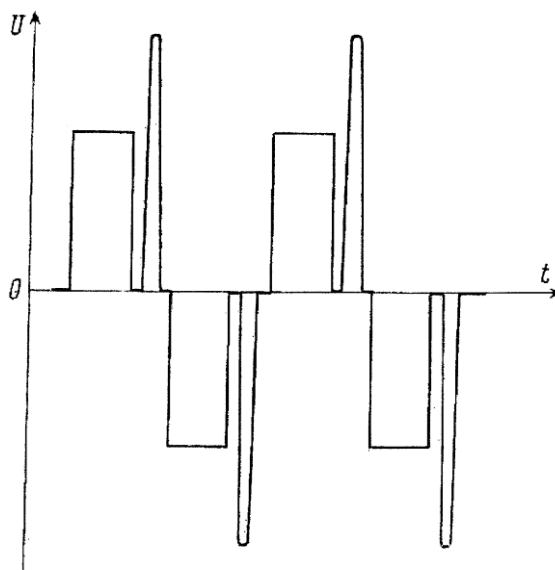
Фиг. 1



Фиг. 2

На фиг.2 изображена схема электродвигателя, выполненного в соответствии с настоящим изобретением, у которого статор электродвигателя расположен снаружи ротора.

На фиг.3 изображена эпюра напряжений на выходах катушек противоположных электромагнитов, образующих вместе с подключенным к ним конденсатором резонансный контур.



Фиг. 3

На фиг.1 представлен электродвигатель, выполненный в соответствии с настоящим изобретением, который может быть использован как мотор-колесо для различных транспортных средств, например велосипеда с электроприводом. Электродвигатель содержит обечайку 1, выполняющую роль защитного кожуха и непосредственно передающую вращение на колесо. Обечайка соединена посредством спиц с ободом колеса (на фигуре не показано). Статор 2 электродвигателя расположен внутри ротора 3. Статор 2 имеет круговой магнитопровод 4, на котором закреплено четное количество постоянных магнитов 5 с одинаковым шагом и чередующейся полярностью. В данном случае десять магнитов ($k=0$). Ротор 3 отделен от статора воздушным промежутком и несет четное число электромагнитов 6. В данном случае четыре. Электромагниты расположены попарно напротив друг друга и образуют две пары. Каждый из указанных электромагнитов имеет по две катушки с последовательно встречным направлением обмотки, (то есть, если одна из катушек намотана по часовой стрелке, то другая

против часовой). Между собой катушки одного электромагнита соединены последовательно, конец обмотки первой катушки электромагнита соединен с началом обмотки второй катушки электромагнита. На фиг.1 начало обмотки первой катушки обозначено буквой «Н», конец обмотки второй катушки обозначен буквой «К».

При работе электродвигателя катушки электромагнитов 6 запитываются от источника постоянного тока (на фигуре не показан) через распределительный коллектор 7 и токосъемники 8. Распределительный коллектор 7 неподвижен относительно статора, а токосъемники 8 связаны с ротором и при его вращении перемещаются относительно токоведущих пластин 9. Указанные пластины соединены с чередованием полярности с постоянным источником тока и разделены диэлектрическими промежутками 10. Количество пластин в распределительном коллекторе соответствует числу магнитов статора и в данном случае равно десяти. Осевые линии диэлектрических промежутков 10 между токоведущими пластинами должны совпадать с осевыми линиями постоянных магнитов 5.

Каждый из токосъемников 8 подключен к одноименным выводам обмоток одного из электромагнитов 6. На фигуре изображен вариант подключения к началу обмотки первой катушки электромагнита, обозначенной буквой «Н». (Возможен также вариант подключения токосъемников к концу обмотки второй катушки, обозначенной буквой «К», в этом случае двигатель будет вращаться в противоположную сторону).

Между собой электромагниты 6 соединены по следующей схеме:

обмотки катушек смежных электромагнитов соединены последовательно, то есть вывод обмотки «К» одного электромагнита соединяется с выводом «Н» соседнего электромагнита;

выводы обмоток противоположных электромагнитов не подключенные к токосъемникам, в данном случае «К», соединены между собой;

выводы обмоток противоположных электромагнитов 6, подключенные к токосъемникам 8 (в данном случае «Н»), дополнительно шунтированы конденсаторами 11 с образованием резонансных контуров. Такое шунтирование улучшает электродинамические характеристики двигателя и практически полностью устраняет возможность искрения на токосъемниках. Емкость конденсаторов шунтирующих катушки электромагнитов выбирают тем больше, чем больше суммарное число витков в этих катушках. Число витков в обмотках катушек противоположных электромагнитов может быть различно. Для усиления резонансных явлений предпочтительно, чтобы эта разница составляла величину $1/2^p$ от общего числа витков в одной из катушек, где $p=2, 3, 4, 5$. Например, если суммарное количество витков в катушках одного электромагнита равно 128 и $p=5$, то суммарное количество витков в катушках диаметрально противоположного электромагнита будет 124. Если $p=4$, то суммарное количество витков в катушках диаметрально противоположного электромагнита будет равно 120 и т.д.

Общее число постоянных магнитов статора равное десяти и количество резонансных контуров, равное двум, удовлетворяют соотношениям:

$$n=10+4k,$$

$$m=2+k, \text{ где } k=0.$$

Принцип действия электродвигателя, выполненного в соответствии с настоящим изобретением, аналогичен традиционному электродвигателю постоянного тока и основан на силах электромагнитного притяжения и отталкивания, возникающих при взаимодействии электромагнитов 6 ротора и постоянных магнитов статора. При прохождении электромагнитом положения, когда его ось расположена между осями постоянных магнитов, катушки электромагнита запитаны так, что создают магнитный полюс, противоположный полюсу последующего в направлении вращения постоянного магнита и одноименный с полюсом предыдущего постоянного магнита. Таким образом, электромагнит одновременно отталкивается от предыдущего и притягивается к последующему постоянному магниту. При прохождении электромагнитом положения напротив оси постоянного магнита он обесточен, поскольку токосъемник располагается напротив диэлектрического промежутка. Это положение электромагнит проходит по инерции. Преимущества настоящего электродвигателя заключаются в строго определенном соотношении числа электромагнитов и постоянных магнитов и их взаиморасположении, а также в используемой схеме коммутации электромагнитов и резонансе токов, текущих через обмотки электромагнитов.

На фиг.2 изображена схема электродвигателя, выполненного в соответствии с настоящим изобретением, у которого статор 2 электродвигателя расположен снаружи ротора 3. Такой электродвигатель может быть использован для электроподъемников, электрогенераторов и т.п.

Конструктивные особенности и принцип действия этого электродвигателя аналогичны описанному выше.

Фиг.3 демонстрирует эпюру напряжений, возникающих в резонансном контуре, образованном катушками электромагнитов и шунтирующим их конденсатором.

Изменение полярности подключения каждого из контуров при вращении ротора создает в них знакопеременный ток. Крутящий момент, создаваемый электродвигателем, усиливается вследствие резонанса этого тока.

Пример реализации.

Электродвигатель, изготовленный в соответствии с настоящим изобретением, демонстрирует высокие эксплуатационные характеристики и надежность конструкции.

Электродвигатель имеет 22 постоянных магнита статора и 5 резонансных контуров (10 электромагнитов ротора). Обмотки диаметрально противоположных электромагнитов рассчитаны на кратность 1/16.

При этом электродвигатель обладает следующими параметрами.

Диаметр 400 мм.

Вес - 16 кг.

Потребляемая мощность - 5,5 кВт.

Напряжение питания - 48 В.

Крутящий момент - до 500 Н/м.

Таким образом, достижение двигателем высоких значений крутящего момента при относительно малых значениях напряжения источника питания и простоте конструкции обеспечивает ему возможности широкого применения.

1. Электродвигатель, содержащий статор с круговым магнитопроводом, на котором закреплено четное число постоянных магнитов с одинаковым шагом; ротор, отделенный от статора воздушным промежутком, и несущий четное число электромагнитов, расположенных попарно напротив друг друга, каждый из электромагнитов имеет по две катушки с последовательно встречным направлением обмотки; распределительный коллектор, закрепленный на корпусе статора и имеющий расположенные по окружности токопроводящие пластины, соединенные с чередованием полярности с постоянным источником тока и разделенные диэлектрическими промежутками; токосъемники, связанные с ротором и установленные с возможностью контакта с пластинами коллектора, причем каждый из токосъемников подключен к одноименному выводу обмоток соответствующих электромагнитов, где обмотки катушек смежных электромагнитов соединены последовательно, выводы обмоток противоположных электромагнитов не подключенные к токосъемникам соединены между собой, а выводы обмоток противоположных электромагнитов подключенные к токосъемникам шунтированы конденсаторами с образованием при этом резонансных контуров; количество постоянных магнитов статора, равное n , и количество резонансных контуров m удовлетворяют соотношениям

$$n=10+4k, m=2+k,$$

где k - целое число, принимающее значения 0, 1, 2, 3 и т.д.,

количество токопроводящих пластин в распределительном коллекторе равно числу постоянных магнитов статора, а осевые линии диэлектрических промежутков распределительного коллектора ориентированы по осевым линиям постоянных магнитов статора.

2. Электродвигатель по п.1, отличающийся тем, что число витков в обмотках катушек диаметрально противоположных электромагнитов различно, и эта разница составляет величину $1/2^p$ от общего числа витков в одной из катушек, где $p=2,3,4,5$.

3. Электродвигатель по п.2, отличающийся тем, что емкость конденсаторов, шунтирующих катушки электромагнитов тем больше, чем больше суммарное число витков в этих катушках.

4. Электродвигатель по п.1, отличающийся тем, что ротор расположен с внешней стороны статора.

5. Электродвигатель по п.1, отличающийся тем, что ротор расположен внутри статора.

6. Электродвигатель по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что токосъемники установлены с возможностью изменения их углового положения по окружности относительно коллектора.