



МОТОР-КОЛЕСО

Авторы: Т. Г. Гаспарян

МОТОР-КОЛЕСО, электромеханическое устройство преобразования электрической энергии в механическую и содержащее в едином устройстве двигатель, движитель, трансмиссию и тормозное устройство. В основу двигателя мотор-колеса положен принцип работы электрической машины постоянного тока – двигателя постоянного тока (ДПТ). Двигатель работает на основе эффекта (при взаимодействии электрического тока в проводнике и магнита может возникнуть непрерывное вращение), обнаруженного М. [Фарадеем](#) в 1821. Если в однородном магнитном поле расположить в вертикальном положении рамку и пропустить по ней ток, тогда вокруг проводника возникнет электромагнитное поле, которое будет взаимодействовать с полюсами магнитов. От одного рамка будет отталкиваться, а к другому притягиваться. В результате рамка повернётся в горизонтальное положение, в котором воздействие магнитного поля на проводник будет нулевым. Для того чтобы вращение продолжилось, необходимо добавить еще одну рамку под углом или изменить направление тока в рамке в подходящий момент. Это возможно осуществить при помощи двух полуколец, к которым примыкают контактные пластины от батарейки. В результате после совершения полуоборота меняется полярность и вращение продолжается. В некоторых конструкциях ДПТ вместо постоянных магнитов для создания магнитного поля используются катушки индуктивности или электромагниты, часто называемые обмотками возбуждения. Поскольку принцип работы ДПТ тот же, что и у элементарного электрического двигателя, то и состоит он из всё тех же основных конструктивных элементов: ротора (вращающаяся часть двигателя, состоящая из магнитопровода и катушек, которые являются аналогом рамки из провода в элементарном электрическом двигателе); статора (неподвижная часть электродвигателя, в которой располагаются либо постоянные магниты, либо электромагниты для создания магнитного поля; аналогично с элементарным

электродвигателем); щёточно-коллекторного узла (представляет множество контактов, через которые посредством щёток напряжение подаётся на катушки ротора; располагается на оси ротора). Напряжение подаётся на электромагниты, расположенные в статоре, и через щёточно-коллекторный узел на одну из катушек ротора. Вследствие этого создаются магнитные поля и при их взаимодействии ротор начинает вращаться. ДПТ дают возможность плавно и экономично регулировать скорость вращения мотор-колеса в широких пределах. В результате этого весьма ценного свойства ДПТ получили широкое распространение. Изменение скорости вращения двигателя можно осуществить изменением напряжения сети, сопротивления цепи ротора и магнитного потока. Скорость вращения регулируется изменением напряжения сети в том случае, когда источником электрической энергии двигателя является какой-либо генератор. Если двигатель работает от общей сети, то изменение напряжения невозможно. Для регулирования скорости вращения двигателя изменением сопротивления цепи ротора используется регулировочный реостат, включённый последовательно с ротором. В отличие от пускового, регулировочный реостат должен быть рассчитан на длительное прохождение тока. Этот способ регулирования скорости вращения не нашёл широкого применения, так как он неэкономичен. В сопротивлении регулировочного реостата происходит большая потеря энергии, вследствие чего резко уменьшается КПД двигателя. Для регулирования скорости вращения ротора двигателя изменением магнитного потока необходимо изменить ток в обмотке возбуждения. В двигателях параллельного и смешанного возбуждения включается регулировочный реостат. В двигателях последовательного возбуждения изменение тока в обмотке возбуждения достигается шунтированием этой обмотки каким-либо регулируемым сопротивлением. Этот способ регулирования скорости не создаёт дополнительных потерь энергии и является экономичным, так как потери в цепи возбуждения относительно малы. В первых моделях мотор-колеса использовалась конструкция коллекторного ДПТ, имеющего значительные недостатки (низкая надёжность, сложность изготовления, высокая стоимость, большие затраты на обслуживание и ремонт). Учитывая это и благодаря появлению недорогих силовых транзисторных ключей и мощных магнитов появилась возможность использовать бесколлекторные ДПТ, конструкция которых была в дальнейшем применена в создании мотор-колеса с электронным управлением.

Бесколлекторная система позволила удалить из конструкции двигателя довольно сложный, требующий постоянного обслуживания тяжёлый и искрящий узел – коллектор. Конструкция двигателя существенно упростилась. Двигатель стал значительно легче и компактнее. Намного уменьшились потери на коммутацию, поскольку контакты коллектора и щётки заменили электронными ключами. В итоге получился электродвигатель с наилучшими показателями КПД и показателем мощности на килограмм собственного веса, с очень широким диапазоном изменения скорости вращения. В большинстве вариантов конструкции бесколлекторных ДПТ используется электронная система управления. В коллекторных ДПТ, чтобы происходило непрерывное вращение, нужно переключать направление тока в рамке в зависимости от положения рамки. В случае мотор-колеса рамка с током – это обмотка двигателя, а переключением занимается коллектор – устройство с щётками и контактами. Те же функции выполняет электронное управляющее устройство, управляющее бесколлекторным двигателем, – в нужные моменты подключает постоянное напряжение на нужные обмотки статора. Т. е. подавать напряжение на обмотки двигателя нужно в зависимости от положения ротора. Поэтому электронное управляющее устройство должно уметь определять положение ротора двигателя. Для этого применяются датчики положения. Они могут быть различного типа – оптические, магнитные и т. д. Наибольшее распространение нашли дискретные датчики на основе эффекта Холла. Благодаря таким датчикам электронный блок управления всегда «знает», в каком положении находится ротор и на какие обмотки подавать напряжение в каждый момент времени.

Анализ разновидностей мотор-колёс

Во многих разновидностях бесколлекторных ДПТ управление осуществляется на основе метода широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Суть этого метода заключается в том, что напряжение питания подаётся на двигатель в виде импульсов. При этом частота следования импульсов остаётся постоянной, а их длительность может меняться. Сигнал ШИМ характеризуется таким параметром, как коэффициент заполнения (Duty cycle). Это величина обратная скважности и равна отношению длительности импульса к его периоду. При таком методе управления скорость вращения двигателя будет пропорциональна коэффициенту заполнения сигнала

ШИМ. Простейшая схема управления ДПТ состоит из полевого транзистора, на затвор которого подаётся сигнал ШИМ. Транзистор в данной схеме выполняет роль электронного ключа, коммутирующего один из выводов двигателя на землю.

Транзистор открывается на момент длительности импульса. Если частота сигнала ШИМ будет низкой (единицы Гц), то двигатель будет поворачиваться рывками. Это будет особенно заметно при маленьком коэффициенте заполнения сигнала ШИМ.

При частоте в сотни Гц мотор будет вращаться непрерывно и его скорость вращения будет изменяться пропорционально коэффициенту заполнения. Источником питания для ДПТ, так же как и для мотор-колеса на их основе, являются любые компактные источники (аккумуляторы, батареи) напряжением 5–48 В, ёмкостью от 50 и выше А/ч.

На сегодня существует большое количество конструктивных решений мотор-колеса. Так, в импульсном электродвигателе (патент RU 2129965 С1, 10.05.1999) использован статор с двумя установленными на держателе кольцеобразными магнитопроводами, на которых расположены чётное количество равноудалённых по окружности постоянных магнитов, внутренний ротор с вращающимися относительно статора электромагнитами, попарно соединёнными с токосъёмниками, дисковый распределительный коллектор, выполненный с возможностью совместного с токосъёмниками преобразования постоянного тока в импульсный разнонаправленный ток. Недостатки такого электродвигателя, характеризующегося внутренним расположением ротора относительно статора, проявляются в необходимости существенного конструктивного усложнения выполняемого на его основе мотор-колеса, что предопределяет неудовлетворительные тяговые свойства и низкую надёжность работы последнего.

В импульсном электродвигателе (патент RU 2172261) кольцевые магнитопроводы статора установлены на держателе и имеют чётное количество постоянных магнитов. Ротор выполнен цилиндрическим с закреплёнными на обечайке квадроэлектромагнитами. Квадроэлектромагниты выполнены с четырьмя полюсами, обращёнными к постоянным магнитам статора попарно по осевой линии и радиально, и четырьмя обмотками, включёнными последовательно-встречно. Выводы квадроэлектромагнитов соединены с соответствующими парами токосъёмников,

установленных по осевым линиям квадроэлектромагнитов. Токосъёмники сдвинуты друг от друга на угол, равный углу смещения квадроэлектромагнитов. В распределительном коллекторе количество медных пластин равно количеству постоянных магнитов на каждом из кольцевых магнитопроводов статора, при этом медные пластины разделены диэлектрическими промежутками. Недостаток указанного импульсного электродвигателя связан с невысокой технологичностью сборки. Кроме того, дисковое исполнение распределительного коллектора, а также большое количество используемых электромагнитов и токосъёмников отрицательно сказываются на надёжности работы электродвигателя.

В вентильно-индукторной машине (патент RU 2189685) содержится первичный элемент с многофазной обмоткой из сосредоточенных фазных катушек с вентильными коммутаторами для их поочерёдного подключения к внешней цепи постоянного тока и вторичный элемент. Первичный элемент имеет однородную структуру в направлении относительного перемещения первичного и вторичного элементов, последний имеет полюсные модули с геометрическими параметрами, обеспечивающими циклическое согласованное положение фазных катушек и полюсных модулей. Недостаток такой машины – низкий пусковой момент, низкая технологичность и сложность устройства управления.

Создан импульсно индукторный двигатель с применением новых технических решений в электромеханическом преобразовании энергии, повышающих технологичность изготовления и эксплуатационную надёжность электропривода при использовании его в качестве мотор-колеса (патент RU 2231201). В импульсном индукторном электроприводе для транспортных средств содержится внутренний неподвижный статор, звездообразной литой конструкции. По окружности равноудалённо закреплены электромагниты, по числу которых определяется количество фаз электропривода. Внешний подвижный ротор, звездообразной литой конструкции, на котором на кольцеобразном магнитопроводе расположены равноудалённые по окружности постоянные магниты, намагниченные в направлении «северный полюс – южный полюс – нейтральная зона», между которыми закреплены инерционные пластины (болванки) из мягкомагнитного материала, сдвинутые на определённый фазовый угол. Статор, с закреплёнными на нём электромагнитами, представляет

собой индукторную машину, электрически соединённую с датчиком положения ротора и устройством управления расположенными на основании статора. Фазы индукторной машины электрически не связаны между собой. Устройство управления обеспечивает бесконтактную коммутацию фаз электропривода по заданному алгоритму, а также преобразование постоянного тока в импульсный однонаправленный ток. Алгоритм коммутации фаз характеризуется несколькими параметрами: количеством тактов в полном цикле коммутации; тактовым углом, который определяет угол поворота ротора за один такт коммутации; числом тактов на один оборот ротора. Кольцевые магнитопроводы ротора установлены на немагнитопроводном держателе и имеют кратные количества постоянных магнитов. Ротор выполнен чашеобразной формы с боковыми крышками и обечайкой. Электромагниты могут иметь броневое исполнение с одной обмоткой или стержневое исполнение с двумя включёнными последовательно-встречно обмотками. Датчик положения ротора закреплён на корпусе статора с возможностью смещения по окружности для окончательной настройки электропривода.