

УДК 621.313

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Андрейкин Н.В., студент гр. 5 ЭТ, 11 курс  
Научный руководитель: Овсянников В.Н., к.т.н., доцент  
Самарский государственный технический университет  
г. Самара

МД находят применение в тех системах, где не всегда могут быть применены быстроходные двигатели с редуктором. В первую очередь - это системы автоматической ориентации и стабилизации различных приборов летательных аппаратов (ЛА), приводы осей гироскопических устройств, фотоаппаратов, платформ телескопов, датчиков ориентации и т.п. Там, где недопустимы неизбежные в редукторах люфты, стабилизирующие МД незаменимы. Задача такого двигателя создавать вращающий момент, воздействующий на объект при отклонении его от заданного положения. Часто МД служит одновременно и для поворота объекта из одного фиксированного положения в другое.

По конструкции МД имеют множество различных модификации. МД могут отличаться способом создания основного магнитного потока (электромагнитное возбуждение или возбуждение от постоянных магнитов), числом полюсов (от униполярных до машин с сотнями полюсов, в приводах платформ крупных наземных телескопов), конструкцией якорной обмотки, которая может размещаться как на статоре, так и на роторе и многими другими признаками. МД с неограниченным углом поворота ротора бывают коллекторного типа или вентильные – с полупроводниковым коммутатором, питающим неподвижную многофазную обмотку статора. Если силовая обмотка расположена на роторе, то ее питание осуществляется либо через коллектор во вращающихся двигателях, либо через гибкие токоподводы в машинах с ограниченным углом поворота ротора.

Большое разнообразие конструкций МД объясняется широким диапазоном их применения. В некоторых системах габариты и вес машины играют второстепенную роль, а на первый план выдвигается удельный по потребляемой мощности момент. В МД, которые предназначены для использования в ЛА [1], главным требованием к двигателю является его удельный по массе (реже по объему) момент и минимальная потребляемая мощность. При этом стоимостные характеристики отходят на второй план.

Анализируя возможные области применения, можно выделить основные требования, которые, как правило, предъявляются ко всем типам МД [2]:

1. Минимальная масса и габариты двигателя. Следует отметить, что часто разработчик не имеет возможности оптимизировать МД по габаритам, так

как двигатель является частью более сложной системы, ограничен размерами и даже может не иметь собственных подшипников, являясь встроенной машиной.

2. Минимальная потребляемая двигателем мощность. Это требование в первую очередь определяет нагрев машины, а, следовательно, и стабильность её характеристик. Кроме того, в системах автономных объектов мощность, потребляемая МД может составлять существенную долю от ограниченной мощности бортовой сети.

3. К вращающимся МД, как правило, предъявляется требование стабильности момента в пределах одного оборота и его линейной зависимости от сигнала управления.

4. Важной характеристикой качества МД является момент трогания двигателя и соответствующий ему уровень сигнала. Чувствительность МД определяется моментом холостого хода и переходным сопротивлением скользящего контакта в коллекторных машинах.

5. Так как МД работает чаще всего в автоматических системах, то высокие требования предъявляются к его быстродействию. Большие электромагнитные и электромеханические постоянные времени резко сужают полосу пропускания системы и могут привести ее к неустойчивости.

При силовых внешних воздействиях возникает динамическая ошибка вследствие механической инерционности ротора и редуктора. В системе же стабилизации с МД энергия сети тратится лишь на компенсацию момента холостого хода двигателя и системы. Кроме этого любой редукторный привод имеет неустранимую статическую ошибку из-за неизбежного люфта в редукторе.

Наряду с отмеченными преимуществами безредукторный привод с МД имеет и недостатки, основные из которых следующие:

1. Так как ротор МД соединен непосредственно с исполнительным механизмом, то любые колебания момента в пределах рабочего угла поворота передаются на нагрузку и не всегда могут быть эффективно компенсированы системными средствами.

2. МД обычной зубцово-пазовой конструкции проигрывает по быстродействию редукторному приводу с быстроходным двигателем.

3. МД, как правило, имеет худшие удельные по потребляемой мощности показатели по сравнению с быстроходным редукторным приводом.

Для того чтобы избежать гибких токоподводов, ротор МД с ограниченным углом поворота (МДОУП) обычно является индуктором и выполнен с постоянными магнитами. Требования к МДОУП, в основном не отличается от общих требований к МД. Однако, в связи с тем, что угол поворота ротора может составлять всего несколько градусов, стабильность моментной характеристики должна быть значительно выше, чем у вращающихся двигателей.

По конструкции МДОУП имеют множество типов и модификаций. Рассмотрим только основные типы магнитоэлектрических двигателей, так как

электромагнитное возбуждение применяются в МД редко и, в основном, только в крупных машинах.

Угол поворота ротора таких машин может быть от нескольких градусов до  $250... 270^\circ$ . Неподвижная магнитная система создает основной поток, в зоне которого находится подвижная обмотка. Обмотка может быть, как полового типа, так и уложенной на подвижный магнитопровод (рис. 1 а, б).

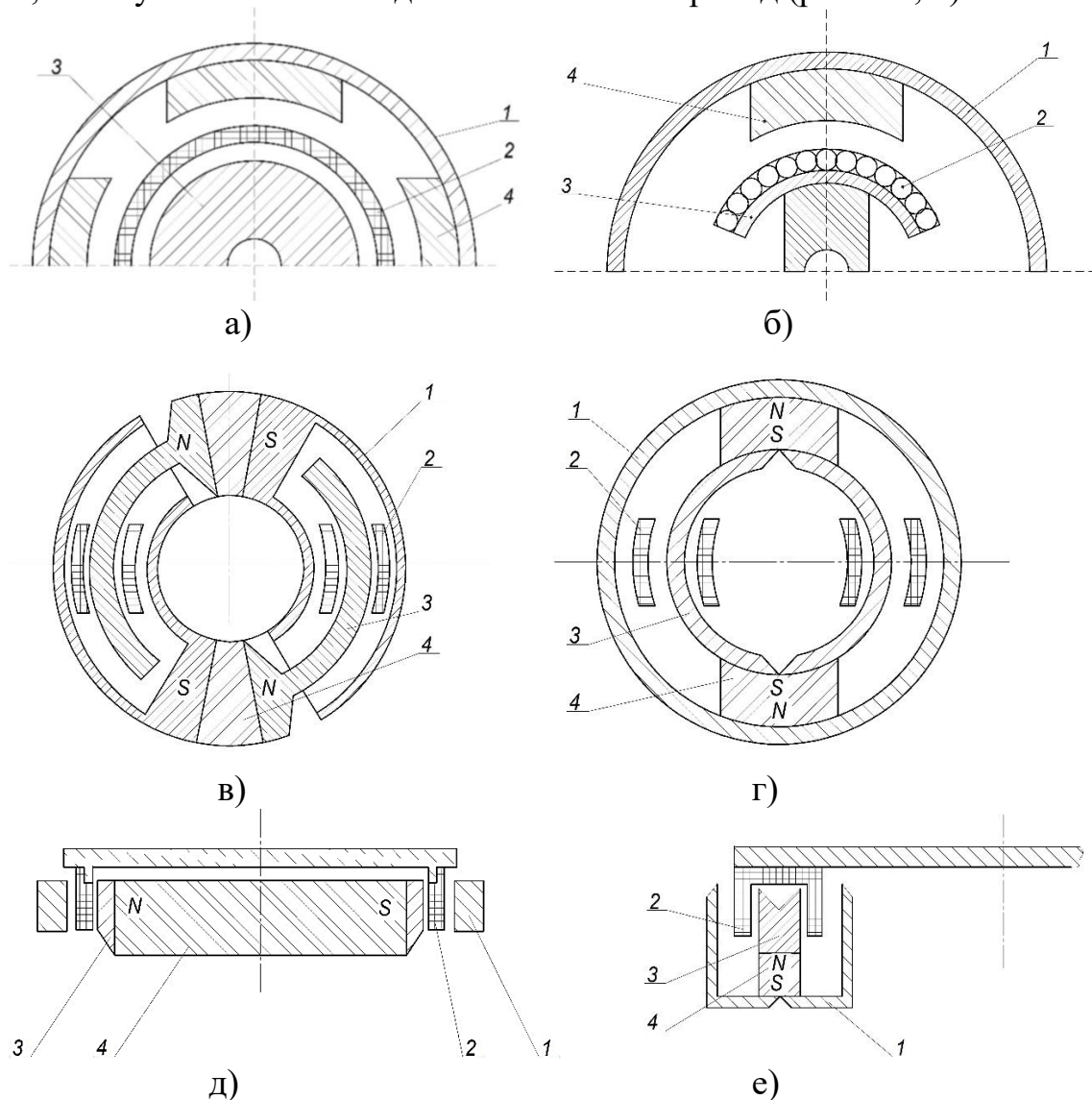


Рисунок 1 – МД с ограниченным углом поворота ротора и подвижной обмоткой.

а) ротор полового типа; б) МД с обмоткой типа «гладкий якорь»; в) МДОУП с полностью активной обмоткой; г) МДОУП с двумя магнитопроводами; д) МД с кольцевой обмоткой; е) МД с барабанной обмоткой.

1 – наружный магнитопровод; 2 – подвижная катушка; 3 – внутренний магнитопровод; 4 – магнит.

В первом случае электромагнитная постоянная мала, мал и момент инерции якоря, но из-за повышенного немагнитного зазора при одинаковой мощности системы возбуждения индукция в зазоре меньше, чем в машинах с

гладким якорем и электромеханическая постоянная может оказаться соизмеримой и даже большей, чем в МД с ферромагнитным сердечником на якоре.

Для повышения коэффициента использования обмотки и снижения потребляемой мощности существует конструкция, в которой обмотка полностью активна (рис. 1 в). В такой конструкции можно достичь весьма малого значения управляющей мощности, но масса магнитопроводов здесь велика. Кроме того, подобный двигатель сложен по конструкции и труднореализуем в производстве. Подобными недостатками обладает и МД, показанный на рис. 1 г. Отличие его от предыдущего заключается в том, что активной является только одна сторона подвижной обмотки. Во внутреннем магнитопроводе должен быть предусмотрен разрыв для ослабления поля реакции якоря.

Существует еще ряд конструкций МД, у которых обмотка располагается непосредственно на элементах исполнительного механизма. При этом снижается момент инерции системы, исключаются узлы соединения двигателя и исполнительного органа. На рис. 1 д, е показаны в качестве примера встроенные МД, служащие для стабилизации оптических систем. Отличительной особенностью таких двигателей является их узкоспециальное применение.

Общими достоинствами описанных типов МД является малая мощность управления и высокая чувствительность. Эти двигатели имеют малый момент инерции и высокое быстродействие. К недостаткам, в первую очередь, следует отнести необходимость гибкого токоподвода к ротору, который создает дополнительный тормозной момент, влияющий на точность системы. Все описанные двигатели имеют достаточно сложную технологическую реализацию.

Отсюда следует вывод: МД с подвижной катушкой рационально применять лишь в маломощных приборных системах. Там же, где требуется создание значительных моментов, оправданно использовать возбуждение со стороны ротора при неподвижной якорной обмотке, расположенной на статоре.

МД с индуктором, расположенным на роторе наиболее распространены среди всех типов МД, как вращающихся, так и с ограниченным углом поворота ротора. Это объясняется отсутствием у них необходимости токоподвода к вращающейся части машины, а, следовательно, такие машины отличаются повышенной надежностью. Обмотка статора – сосредоточенная или распределенная, питается постоянным или модулированным током. При необходимости в многофазных системах статорная обмотка может питаться от преобразователя переменным током и МД в этом случае может работать как синхронный вращающийся двигатель или как вентильный двигатель постоянного тока.

По конструкции ротор с постоянными магнитами может быть цилиндрического или торцевого исполнения (рис. 2). При торцевом исполнении двигателя иногда удается сократить осевой размер машины, но у таких МД возникает проблемы, связанные с наличием сил одностороннего магнитного

тяжения ротора, вызывающими значительные осевые нагрузки на подшипники.

Для создания желательной формы кривой магнитного поля в зазоре и для борьбы с размагничивающим действием реакции якоря часто и в цилиндрических и торцевых машинах используют полюсные наконечники из магнитомягкой стали. Эти наконечники легче обрабатываются и им можно придать желаемую форму путем механической обработки.

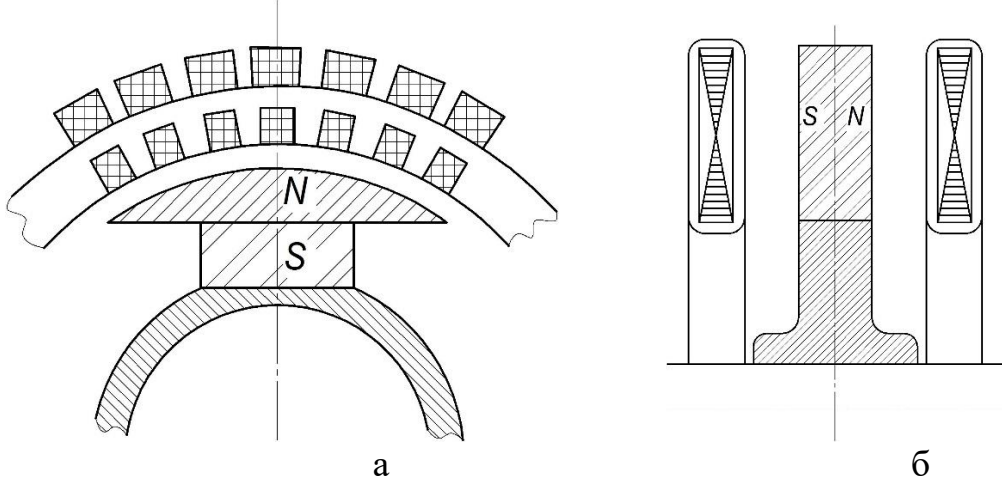


Рисунок 2 – МД цилиндрического и торцевого исполнения.

- а) МД цилиндрического исполнения с пазовой кольцевой обмоткой;  
б) МД торцевого исполнения с двухсторонним беспазовым статором.

В МД с ограниченным углом поворота ротора, наоборот, желательно приблизить кривую индукции в пределах рабочего угла поворота к прямоугольной. Иногда полюсные наконечники служат не для распределения магнитной индукции, а для ее концентрации (когда площадь полюсного наконечника меньше площади сечения магнита). Во всех случаях применения полюсных наконечников есть два основных отрицательных момента:

первое – в полюсном наконечнике шунтируется часть, иногда значительная, магнитного потока магнита;

второе – полюсный наконечник из магнитомягкой стали, снижает быстродействие двигателя за счет демпфирующего действия вихревых токов в переходных режимах.

#### Список литературы:

1. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1989 – 224с.
2. Овсянников В.Н., Макаричев Ю.А., Анисимов В.М. Особенности проектирования моментных двигателей систем энергосбережения трубопроводного транспорта Изв. Вузов Электромеханика, № 3, 2011, - С. 54-56