

ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

об электродвигателе В.В. Шкондина, предназначенном
для мотор-колес легких транспортных средств

Краткое описание устройства двигателя.

Электродвигатель В.В. Шкондина представляет собой низковольтный низкооборотный коллекторный двигатель постоянного тока с высококоэрцитивными постоянными магнитами на статоре и *якорными катушечными обмотками на роторе*. На роторе также находится щеточный узел, расположенный на регулируемой относительно обмоток якоря траверсе. Коллектор, установленный на статоре, является неподвижным и *имеет число коллекторных пластин, равное числу магнитов*. К неподвижным коллекторным пластинам подведено напряжение таким образом, что пластины имеют чередующуюся полярность. Каждая пара электромагнитов образует разнополярную магнитную систему, зубцовое деление которой равно полюсному делению постоянных магнитов. Каждая пара катушек электромагнитов объединяется в единую фазу с соответствующей диаметрально расположенной парой. *Фаза имеет выводы на две щетки и параллельное подключение к емкости*, величина которой пропорциональна числу витков фазы. Расстояние между соседними парами электромагнитов, как правило, больше их зубцового деления и подчиняется определенному закону, заключающемуся в том, что число постоянных магнитов равно $10+4k$, а число фаз равно $2+k$, где $k = 0, 1, 2, 3 \dots$. $10+4k=18 \dots 18+4k=22 \dots 22+4k=26$ полюсов - мотор-колесо тягача, трактор.

Особенности устройства и работы двигателя.

Необычным для коллекторного двигателя постоянного тока В.В. Шкондина является, во-первых, выполнение обмотки якоря в виде дискретных зубцовых катушек и, во-вторых, подключение параллельно каждой фазе конденсатора.

Первое нововведение позволяет концентрировать магнитное поле якоря и локализовать его в пределах одной пары катушек именно при таком положении ротора, когда могут быть созданы наибольшие тангенциальные усилия, приводящие к существенному повышению электромагнитного момента. Следует отметить, что такой же подход имеет место при проектировании вентильных индукторных двигателей (обозначаемых в международной литературе SRM - Switched Reluctance Motor), позволивший занять этим двигателям (наряду с их чрезвычайной простотой) ведущие позиции в ряду электродвигателей разных типов.

Второе новшество – параллельное включение емкостей – позволяет уменьшить коммутационные токи щеточно-коллекторного узла, благодаря замыканию реактивных токов в замкнутой цепи – «обмотка фазы - конден-

сатор". При этом возникает феррорезонанс токов, уменьшающий ток через щетки. Таким образом, правильно подобранные емкости уменьшают коммутационные токи и улучшают коммутацию, продлевая срок службы щеточно-коллекторного узла.

Процесс рекуперации энергии в двигательном режиме, заявленный автором, с точки зрения теории неправомерен, если его понимать в прямом смысле, ввиду того, что рекуперация возможна лишь в генераторном режиме, когда происходит преобразование механической энергии в электрическую. Процесс, о котором идет речь, правильнее назвать **возвратом накопленной в обмотках электромагнитной энергии источнику питания** после его отключения. В данном двигателе из-за относительно малого количества коллекторных пластин потребляемый ток имеет заметно пульсирующий характер (что показали также испытания двигателя), и, следовательно, наряду с активной составляющей переменного тока в нем присутствует и реактивная, приводящая к периодическому перетеканию мощности от источника питания к двигателю и наоборот. Это приводит лишь к понижению КПД двигателя из-за увеличения электрических потерь. Другими словами не вся потребляемая от источника питания электрическая мощность преобразуется в механическую. Оставшаяся, непреобразованная в механическую, **мощность электромагнитного поля обмоток якоря** после их отключения от источника питания как раз и создает реактивные токи. Автор изобретения сумел найти способ аккумуляирования этой электромагнитной мощности, повысив тем самым коэффициент преобразования потребляемой электрической энергии в механическую. В конечном итоге все это теоретически позволяет повысить КПД разработанного двигателя.

Стремление автора увеличить диаметр мотор-колеса с использованием разработанного двигателя вполне оправдано. Это позволяет увеличить **момент при тех же по величине токах**, увеличить окружную скорость ротора и увеличить КПД. В традиционных машинах аналогичные тенденции имеют место, например, в мощных гидрогенераторах, являющихся низкооборотными машинами, диаметры которых достигают десятки метров.

Объект испытаний.

В качестве конкретного объекта выступает электродвигатель В.В. Шкондина МК-300.36, предоставленный заказчиком (ОАО "Русские технологии") для стендовых испытаний. Двигатель имеет массу 9,67 кг, диаметр 295 мм и толщину 60 мм. Испытания проводились в аккредитованной Испытательной лаборатории электротехнических изделий на кафедре автоматизированного электропривода Московского энергетического института (Технического университета) под руководством Ю.Н. Сергеевского.

Результаты испытаний.

Испытания, в частности, показали, что при напряжении 24 В и нагрузке на валу 11,6 Нм устанавливается частота вращения двигателя 270 об/мин. 40 км При этом двигатель потребляет ток 20 А и развивает мощность 328 Вт. КПД

Мощность
300 Вт.

(Полезный рычаг)

23 км/час

двигателя в этом режиме максимален и составляет 66 %. Максимальная мощность на валу 592 Вт при частоте вращения 161,7 об/мин и моменте на валу 35 Нм. При этом КПД составляет 45%, а потребляемый ток 55 А. Осциллографирование тока, потребляемого двигателем, показало, что ток содержит переменную составляющую, амплитуда которой достигает около 20% от его среднего значения, что подтверждает вышеприведенные теоретические рассуждения. Всплесков напряжения на зажимах двигателя, указанных в патенте, установить не удалось. Для этого требуется более тщательный эксперимент.

Более подробные сведения о результатах испытаний двигателя приведены в **Приложении 1** (Протокол испытаний №01/0054 от 16.03.2004) к данному заключению.

Сравнение двигателя В.В. Шкондина с другими двигателями.

Сравнение данного двигателя с другими весьма проблематично из-за разрозненных, плохо сопоставимых и скудных данных о двигателях, предназначенных для мотор-колес легких транспортных средств. Тем не менее, сравнение рассматриваемого двигателя с соответствующими двигателями В.А. Евсеенкова, С. Lynch, двигателями фирм Antec, Heinzmann, Volkswagen, Инкар-М, кафедры АЭП МЭИ, ОАО "МиассЭлектроАппарат", ВНИИЭМ и др. показало, что КПД и удельные энергетические показатели двигателя В.В. Шкондина в основном не хуже, чем у других рекламируемых образцов.

Удельная номинальная мощность двигателя Шкондина МК-300.36 составляет 34 Вт/кг, максимальная – 61 Вт/кг. Близкие к этим показатели имеют двигатели фирмы Инкар-М, Antec. Однако, предположительно, стоимость этих двигателей должна быть в полтора-два раза выше, т.к. это вентильные двигатели с электронной системой управления. Кроме того, двигатель Antec имеет бездатчиковую систему управления, что обуславливает его вялую динамику.

Двигатели В.А. Евсеенкова, С. Lynch имеют высокий КПД и хорошую динамику, однако это высокоскоростные двигатели (1500-3500 об/мин) с печатным якорем, имеющем высокую плотность тока и высокий нагрев, им необходим механический редуктор для понижения частоты вращения (что снижает КПД и надежность).

Неплохие показатели имеет двигатель (вентильный индукторный с бездатчиковым управлением), разработанный на кафедре АЭП МЭИ. Несмотря на более низкие показатели, это наиболее дешевый и надежный из всех вентильных двигателей, т.к. он не содержит постоянных магнитов и обмоток на роторе.

Наиболее высокий КПД (82%) заявлен у коллекторного двигателя фирмы Heinzmann, что вызывает определенные сомнения. Ввиду отсутствия необходимых данных определить его удельные энергетические показатели не удалось. Судя по габаритным размерам, они несколько ниже, чем у двигателя Шкондина.

Достоинства двигателя В.В. Шкондина

1. Катушечные обмотки якоря, простота их намотки.
2. Улучшенная коммутация благодаря включению емкостей параллельно каждой фазе.
3. Надежная, простая и технологичная конструкция неподвижного коллектора с большими изоляционными промежутками между пластинами, предотвращающими круговой огонь и замыкание.
4. Щетки, расположенные на якоре, имеют при пуске, когда наибольшие токи, хороший контакт. При наборе скорости, когда ток уменьшается, под действием центробежных сил давление щеток на коллектор ослабевает, уменьшая их износ.
5. Магнитопровод якоря выполняется в виде отдельных электромагнитов с двумя катушками, т.к. магнитное поле локализовано в его объеме. Это увеличивает электромагнитный момент и уменьшает потери в стали.
6. Несмотря на то, что наличие щеточно-коллекторного узла уменьшает надежность машины, его простота и хорошая конструктивная проработка существенно компенсирует этот недостаток и значительно снижает стоимость двигателя.

Недостатки двигателя В.В. Шкондина

1. Наличие щеточно-коллекторного узла – компромисс между надежностью и стоимостью.
2. Вращающиеся щетки в некоторой степени понижают надежность, несмотря на их достоинства, указанные выше в п. 4.
3. Имеет место ненадежная компоновка и крепление соединительных проводов между электромагнитами (выполненное в опытном образце). *Этот недостаток устранен*

Замечания и предложения по конструктивному исполнению двигателя В.В. Шкондина приведены в Приложении 2.

ВЫВОДЫ ЭКСПЕРТИЗЫ.

- Принцип действия и конструктивное исполнение двигателя Шкондина имеют существенные элементы новизны и не вызывают сомнений в их оригинальности и эффективности.
- Испытания двигателя показали, что его КПД при напряжении питания, равном 24 В, составляет в рабочем режиме 66%. Следует учесть, что его обмотки выполнены алюминиевым проводом. При замене этого провода на медный КПД должен повыситься до 69-71%. С учетом замечаний по конструктивному исполнению возможно повышение КПД двигателя еще на несколько процентов.

80-85%

5

- По удельным энергетическим показателям двигатель Шкондина находится в одном ряду с лучшими двигателями для мотор-колес легких транспортных средств, имея при этом существенное преимущество, состоящее в технологичности и низкой цене.

- Замена щеточно-коллекторного узла в двигателе Шкондина на электронный коммутатор приведет к его удорожанию в несколько раз. Это также свидетельствует о преимуществах принятого конструктивного решения данного двигателя.

- При соответствующем исполнении двигателя по степени защиты от окружающей среды он может быть использован в климатических зонах с повышенной влажностью. Для этой цели необходима его дальнейшая конструктивная и технологическая проработка.

ЭКСПЕРТ

канд. техн. наук
доцент кафедры ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ
Московского энергетического института



В.Г. ФИСЕНКО

17.03.2004.