

УДК 621.3

**Бесколлекторные двигатели.**

Герасимович Ю.Э.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КОНСТАНТИНОВА С.В.

Бесколлекторный электродвигатель постоянного тока также называют трёхфазным вентильным двигателем, в зарубежной литературе BLDCM (BrushLess Direct Current Motor) или PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Он представляет собой синхронное устройство, принцип работы которого основывается на самосинхронизированном частотном регулировании, благодаря чему происходит управление вектором (отталкиваясь от положения ротора) магнитного поля статора. Бесколлекторные двигатели получили широкое распространение благодаря развитию электроники и, в том числе, благодаря появлению недорогих силовых транзисторных ключей. Также немаловажную роль сыграло появление мощных неодимовых магнитов.

Идея бесколлекторного двигателя появилась на заре электричества. Но, первый коммерческий бесколлекторный двигатель постоянного тока появился только в 1962 г. в силу неготовности технологий. Конструктивно бесколлекторный двигатель состоит из ротора с постоянными магнитами и статора с обмотками. Следует обратить внимание на то, что в коллекторном двигателе наоборот, обмотки находятся на роторе.

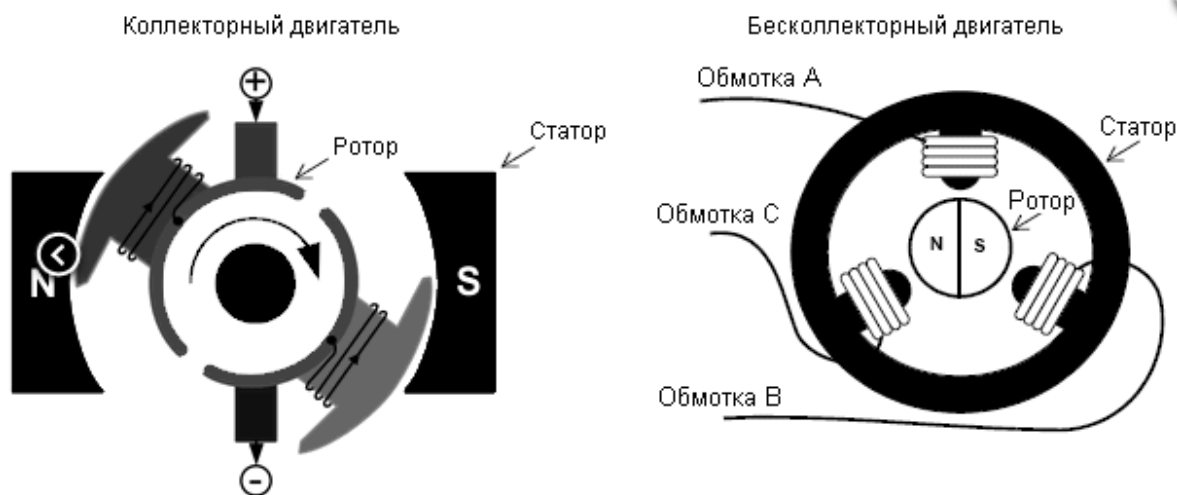


Рисунок 1 – Двигатели постоянного тока

**Преимущества и недостатки**

Из конструкции двигателя удаляется довольно сложный, требующий обслуживания тяжелый и искрящий узел – коллектор. Конструкция двигателя существенно упрощается. Двигатель получается легче и компактнее. Значительно уменьшаются потери на коммутацию, поскольку контакты коллектора и щетки заменяются электронными ключами. В итоге получаем электродвигатель с наилучшими показателями КПД – порядка 93-95%, и показателем мощности на килограмм собственного веса, с наиболее широким диапазоном изменения скорости вращения. На практике бесколлекторные двигатели греются меньше, чем коллекторные. Переносят большую нагрузку по моменту. Применение мощных неодимовых магнитов сделали бесколлекторные двигатели еще более компактными. Конструкция бесколлекторного двигателя позволяет эксплуатировать его в воде и агрессивных средах (разумеется, только двигатель, регулятор мочить будет очень дорого). Бесколлекторные двигатели практически не создают радиопомех.

Единственным недостатком считают сложный дорогостоящий электронный блок управления — регулятор скорости вращения вала двигателя постоянного тока (в зарубежной литературе Speed Controller или ESC (Electronic speed control)).

Принцип действия классического коллекторного двигателя постоянного тока: рамка с током вращается в магнитном поле, при этом она не вращается постоянно, а поворачивается до определенного положения. Для того чтобы происходило непрерывное вращение, нужно переключать направление тока в рамке в зависимости от положения рамки. В нашем случае рамка с током – это обмотка двигателя, а переключением занимается коллектор – устройство со щетками и контактами..

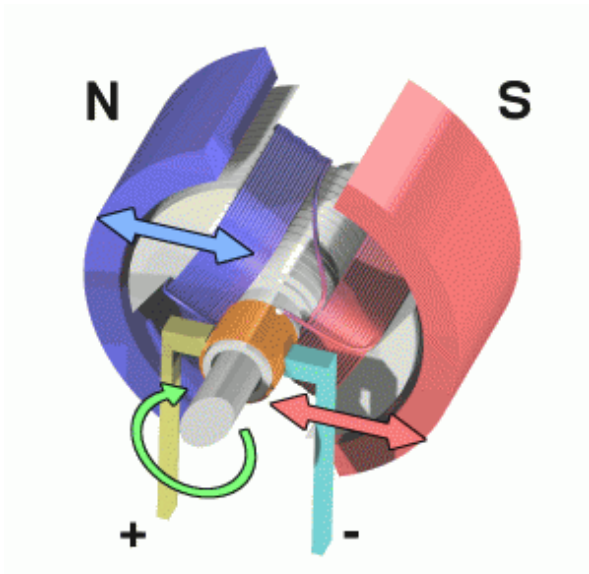


Рисунок 2 – Устройство простейшего двигателя постоянного тока

То же самое делает и электроника, управляющая бесколлекторным двигателем – в нужные моменты подключает постоянное напряжение на нужные обмотки статора. В контроллере для приборов с питанием от сети 220 В чаще всего используется инверторная схема, в которой происходит преобразование тока с частотой 50 Гц сначала в постоянный ток, а затем в сигналы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Для подачи питающего напряжения на обмотки статора используются мощные электронные ключи на биполярных транзисторах или других силовых элементах. Регулировка мощности и числа оборотов двигателя осуществляется изменением скважности импульсов, а, следовательно, и действующим значением напряжения, подаваемого на обмотки статора двигателя.

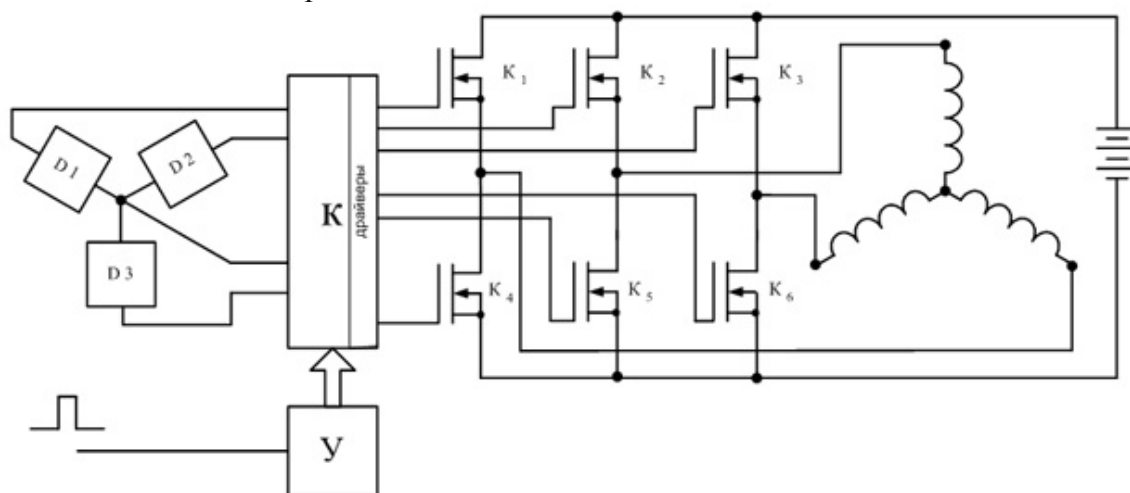


Рисунок 3 – Принципиальная схема регулятора оборотов. K1-K6 — ключи D1-D3 — датчики положения ротора (датчики Холла)

**Датчики положения**

Важным вопросом является своевременное подключение электронных ключей к каждой обмотке. Для обеспечения этого контроллер должен определять положение ротора и его скорость. Для получения такой информации могут быть использованы оптические или магнитные датчики (например, датчики Холла), а также обратные магнитные поля. Более распространено использование датчиков Холла, которые реагируют на наличие магнитного поля. Датчики размещаются на статоре таким образом, чтобы на них действовало магнитное поле ротора. В трехфазном бесколлекторном двигателе используется 3 датчика. Благодаря таким датчикам электронный блок управления всегда знает, в каком положении находится ротор и на какие обмотки подавать напряжение в каждый момент времени. В некоторых случаях датчики устанавливаются в устройствах, которые позволяют изменять положение датчиков и, соответственно, регулировать угол опережения (timing). Существуют бесколлекторные двигатели, которые не имеют датчиков. В таких двигателях положение ротора определяется путем измерения напряжения на незадействованной в данный момент времени обмотке (этот способ актуален только при вращении двигателя). Когда двигатель не вращается или вращается очень медленно, такой метод не работает. Двигатели с датчиками положения более предпочтительны с технической точки зрения. Алгоритм управления такими двигателями значительно проще. Однако есть и свои минусы: требуется обеспечить питание датчиков и прокладку проводов от датчиков в двигателе к управляющей электронике; в случае выхода со строя одного из датчиков, двигатель прекращает работу, а замена датчиков, как правило, требует разборки двигателя. В тех случаях, когда конструктивно невозможно разместить датчики в корпусе двигателя, используют двигатели без датчиков. Конструктивно такие двигатели практически не отличаются от двигателей с датчиками. А вот электронный блок должен уметь управлять двигателем без датчиков. При этом блок управления должен соответствовать характеристикам конкретной модели двигателя. Если двигатель должен стартовать с существенной нагрузкой на валу двигателя (электротранспорт, подъёмные механизмы и т.п.) – применяют двигатели с датчиками. Если двигатель стартует без нагрузки на валу (вентиляция, воздушный винт, применяется центробежная муфта сцепления и т.п.), можно применять двигатели без датчиков. Кроме того, в момент старта двигателя без датчиков возможны вращательные колебания оси двигателя в разные стороны.

Наибольшее распространение получили трехфазные бесколлекторные двигатели, но чем больше фаз, тем более плавное вращение магнитного поля, но и сложнее система управления двигателем. 3-х фазная система наиболее оптимальна по соотношению эффективность/сложность, поэтому и получила столь широкое распространение.

В трехфазной системе в каждый момент времени напряжение подается на две из трех обмоток. Таким образом, есть 6 вариантов подачи постоянного напряжения на обмотки двигателя, как показано на рисунке 4. Это позволяет создать вращающееся магнитное поле, которое будет проворачиваться “шагами” на 60 градусов при каждом переключении.

Области применения БДТП следующие:

1. создание моделей;
2. медицина;
3. автомобилестроение;
4. нефтегазовая промышленность;
5. бытовые приборы;
6. военная техника.

Использование БД для авиамodelей дает значительное преимущество по мощности и габаритам. Сравнение обычного коллекторного двигателя типа Speed-400 и БДТП того же класса Astro Flight 020 показывает, что двигатель первого типа имеет КПД 40-60%. КПД второго двигателя в тех же условиях может достигать 95%. Таким образом, использование БД позволяет увеличить почти в 2 раза мощность силовой части модели или время ее полета.

Благодаря малому шуму и отсутствию нагревания при работе БДПТ широко используются в медицине, особенно в стоматологии. В автомобилях такие двигатели используются в подъемниках стекол, электростеклоочистителях, омывателях фар и электрорегуляторах подъема кресел.

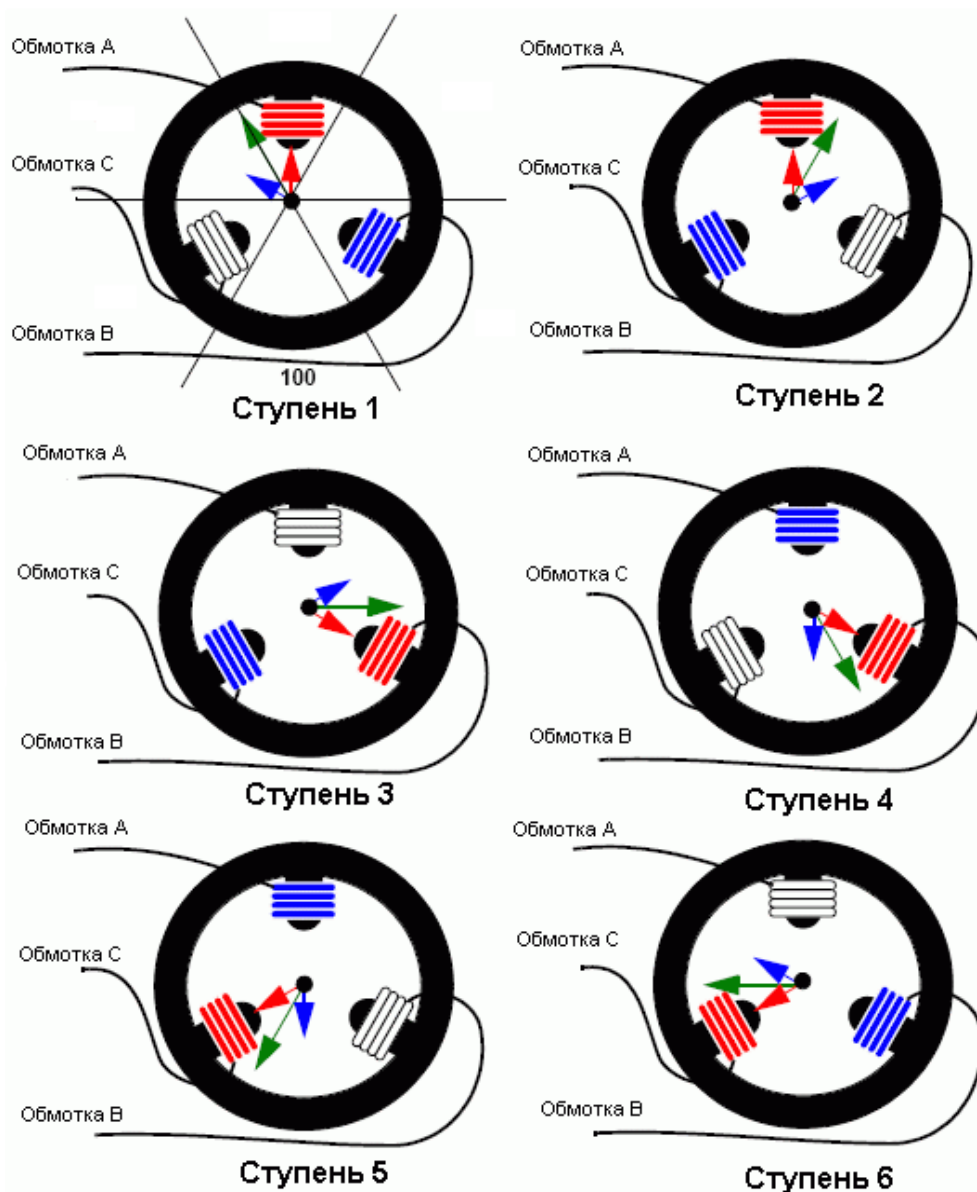


Рисунок 4 – Варианты подачи постоянного напряжения на обмотки двигателя

Отсутствие коллектора и искрения щеток позволяет использовать БД в качестве элементов запорных устройств в нефтегазовой промышленности.

В качестве примера использования БД в бытовой технике можно отметить стиральную машину с прямым приводом барабана компании LG. Эта компания использует БДПТ типа Outrunner. На роторе двигателя имеется 12 магнитов, а на статоре – 36 катушек индуктивности, которые намотаны проводом диаметром в 1 мм на сердечники из магнитопроводящей стали. Катушки соединены последовательно по 12 штук в фазе. Сопротивление каждой фазы равно 12 Ом. В качестве датчика положения ротора используется датчик Холла. Ротор двигателя крепится к баку стиральной машины.



Рисунок 5 – Бесконтактный двигатель для привода жестких дисков

Повсеместно данный двигатель используется в жестких дисках для компьютеров, что делает их компактными, в CD и DVD приводах и системах охлаждения для микро-электронотехнических устройств и не только. Наряду с БД малой и средней мощности в промышленности с тяжелыми условиями работы, судовой и военной промышленности все больше используются большие БДПТ. БД большой мощности разработаны для американских ВМС. Например, компания Powertec разработала БДПТ мощностью 220 кВт со скоростью в 2000 об/мин. Момент двигателя достигает 1080 Нм. Кроме указанных областей, БД применяются в проектах станков, прессов, линий для обработки пластмасс, а также в ветроэнергетике и использовании энергии приливных волн.

Основными характеристиками двигателя являются:

- номинальная мощность;
- максимальная мощность;
- максимальный ток;
- максимальное рабочее напряжение;
- максимальные обороты (или коэффициент  $K_v$ );
- сопротивление обмоток;
- угол опережения;
- режим работы;
- габаритно-массовые характеристики двигателя.

Максимальная мощность – это мощность, которую может отдать двигатель в течение кратковременного отрезка времени, не разрушаясь. Например, для упомянутого выше бесколлекторного двигателя

**Максимальное рабочее напряжение** – напряжение, которое могут выдержать обмотки двигателя.

**Максимальное число оборотов двигателя.** Иногда в паспорте указывается коэффициент  $K_v$  – число оборотов двигателя на один вольт. Максимальное число оборотов можно определить умножением этого коэффициента на максимальное рабочее напряжение.

**Угол опережения** представляет собой опережение переключения напряжений на обмотках. Оно связано с индуктивным характером сопротивления обмоток.

Режим работы может быть длительным или кратковременным. При долговременном режиме двигатель может работать длительное время. При этом выделяемое им тепло полностью рассеивается и он не перегревается. В таком режиме работают двигатели, например, в вентиляторах, конвейерах или эскалаторах. Кратковременный режим используется для таких устройств, как например, лифт, электробритва. В этих случаях двигатель работает короткое время, а затем долгое время остывает. В паспорте на двигатель приводятся его размеры и масса. Кроме того, например, для двигателей, предназначенных для авиамоделей, приводятся посадочные размеры и диаметр вала.

#### Литература:

1. <http://www.avislab.com/blog/brushless01/>
2. <http://zewerok.ru/beskollektornyj-dvigatel-postoyannogo-toka/>
3. <https://elektro.guru/elektrooborudovanie/elektrodvigatel/beskollektorny-dvigatel-postoyannogo-toka.html>