



Точность в любых условиях

Только плавное взаимодействие электроприводов, контроллеров привода и датчиков приводит к гармоничной приводной системе для мобильных систем и робототехники. Мы всегда находим решения для любых условий эксплуатации.
maxongroup.com

ИнноДрайв - официальный дистрибьютор maxon

www.innodrive.ru
+7 (812) 317-77-93



Precision Drive Systems

maxon



Бесколлекторные двигатели постоянного тока maxon – неизменное швейцарское качество

maxon

Статья кратко знакомит читателей с бесколлекторными двигателями постоянного тока, представляет продукты и информацию о швейцарской группе компаний maxon (до июля 2019 года – maxon motors). Статья выполнена на основе материалов с сайта компании и ее последнего каталога, переведенного компанией ООО «ИнноДрайв», которая с 1 июня 2019 года представляет интересы швейцарской группы и является официальным представителем maxon в Российской Федерации.

ООО «ИнноДрайв», г. Санкт-Петербург

Бесколлекторные двигатели постоянного тока (Brushless DC Motors, BLDC), которые также называют вентильными, конструктивно состоят из ротора с постоянными магнитами и статора с обмотками. Двигатели этого типа являются синхронными с самосинхронизацией, но их принцип действия отличается от синхронных двигателей переменного тока, у которых самосинхронизация от-

сутствует. В известной степени они похожи на шаговые двигатели, но принцип их работы иной, и по ряду параметров, особенно по скорости, они значительно превосходят двигатели этого типа. Роднит их наличие ротора в виде постоянных магнитов и использование электронной коммутации для управления статором. Преимущество же синхронного двигателя в том, что его скорость вращения

до критической, предельной нагрузки, от нее не зависит.

Бесколлекторные двигатели постоянного тока отличаются превосходными характеристиками крутящего момента, высокой мощностью, чрезвычайно широким диапазоном скоростей и, благодаря отсутствию коллектора со щетками, исключительно длительным сроком службы. Еще одной характерной чертой бесколлек-

торных двигателей являются малые электромагнитные помехи (ЭМП). Они практически не создают радиопомех, что решает непростые проблемы электромагнитной совместимости и позволяет использовать их совместно с чувствительным к сторонним помехам оборудованием. Конструкция бесколлекторного двигателя позволяет эксплуатировать его в воде и агрессивных средах, а возможность стерилизации открывает путь к использованию в медицинской промышленности.

Особенности бесколлекторных двигателей постоянного тока maxon

Особенностью бесколлекторных двигателей постоянного тока является способ определения положения ротора двигателя. Для этого существует два варианта решения: либо с помощью датчиков положения, либо путем измерения напряжения на незадействованной в данный момент времени обмотке. Датчики положения могут быть оптические, индуктивные, магнитные и т. д. В настоящее время чаще всего используются датчики на основе эффекта Холла (рис. 1), их число равно числу фаз. Благодаря датчикам электронный блок управления всегда

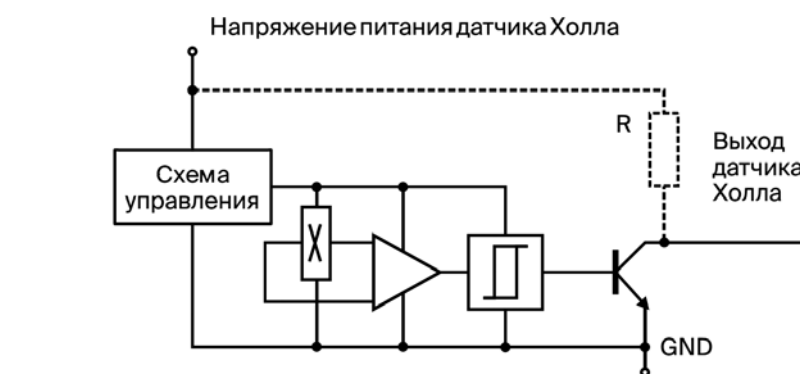


Рис. 1. Схема датчика Холла: потребление тока датчика составляет примерно 4 мА (на выходе – высокий уровень), резистор R, как правило, внешний, используется в качестве подтяжки

«знает», в каком положении находится ротор и на какие обмотки подавать напряжение в каждый момент времени.

Двигатели с датчиками положения предпочтительней с технической точки зрения. Алгоритм управления такими двигателями значительно проще, но конструктивное решение двигателя – сложнее, так как требуется установить датчики и подать к ним питание.

Если по условиям работы датчики Холла не требуются, то используется решение без датчиков. Конструктивно такие двигатели практически не отличаются от двигателей с датчика-

ми, кроме того, что их выводы – это только цепи подключения обмоток. А вот схема управления в этом случае получается сложной и, как правило, не универсальной: выполняется под конкретную модель двигателя, а иногда даже под режим его функционирования.

Если говорить кратко, то в случае, если двигатель стартует под нагрузкой, применяют двигатели с датчиками. Если двигатель стартует без нагрузки на валу, можно применять двигатели без датчиков. Двигатель без датчиков положения должен стартовать без на-

Коммерчески доступные серии бесколлекторных двигателей постоянного тока maxon

ECX SPEED	
	Бесколлекторные двигатели постоянного тока серии maxon ECX SPEED диаметром от 4 до 22 мм – это оптимальное решение для приложений, требующих скоростей вращения. Двигатели maxon ECX оптимизированы по мощности, обладают высокими скоростями (до 120 000 об/мин), прочной конструкцией, самым низким остаточным дисбалансом плавного хода, высоким КПД, долговечностью, они выдерживают стерилизацию до 2000 циклов автоклава. Имеют различные варианты исполнения. Предусмотрена возможность изготовления двигателей ECX по заказу, их можно конфигурировать онлайн, при этом подготовка к отправке заказчику занимает не более одиннадцати рабочих дней.
ECX SQUARE	
	Бесколлекторные двигатели ECX SQUARE обладают квадратной формой, размерами 16 × 52 мм и крутящим моментом до 13 мН·м. Максимально допустимая скорость – до 30 000 об/мин. Решение отлично сбалансировано по стоимости для массового применения. Двигатели серии ECX SQUARE очень прочны, компактны, имеют длительный срок службы. Корпус сервопривода изготовлен из термостойчивого материала. Обмотка полностью герметична, хорошо отводит тепло, механически стабильна.
EC	
	Бесколлекторные двигатели постоянного тока с диаметром в диапазоне от 4 до 90 мм и мощностью от 1,2 до 400 Вт. Для двигателей серии EC характерны хорошие характеристики крутящего момента, высокая мощность, высокая производительность, очень широкий диапазон скоростей и беспрецедентно долгий срок службы. Изделия оптимизированы по мощности, развивают высокую скорость (до 100 000 об/мин), обладают прочной конструкцией, самым низким остаточным дисбалансом плавного хода, высоким КПД, долговечностью. Выдерживают стерилизацию. Выпускаются в разных вариантах исполнения.

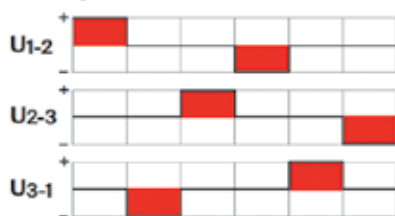
EC-max	
	<p>Серия тахоп EC-max – это экономичное исполнение бесколлекторных двигателей постоянного тока с диаметром от 16 до 40 мм, мощностью от 5 до 120 Вт и скоростями до 20 000 об/мин. Конструкция двигателей этого типа обеспечивает длительный период эксплуатации с отличным соотношением цена/качество. В серии тахоп EC-max реализована та же идея, что и в успешных двигателях семейства A-tach, которые имеют ротор с одной парой полюсов и созданы на базе одинаковых деталей (благодаря чему создается широкий ассортимент двигателей) в модульной системе с редукторами, датчиками и тормозами, с ориентацией на различные рынки.</p>
EC-4pole	
	<p>Серия тахоп EC-4pole – это самые мощные бесколлекторные двигатели постоянного тока от тахоп. Их диаметр может составлять от 22 до 32 мм, а мощность – от 90 до 480 Вт. Эти четырехполюсные двигатели являются одними из лучших в своем классе, отличаются высокой удельной мощностью благодаря ротору с двумя парами полюсов и запатентованной петлевой обмотке System тахоп с оптимальной взаимосвязью частичных обмоток, а также использованию высококачественного материала магнитной системы для снижения потерь на вихревые токи. Доступные скорости – до 25 000 об/мин при механической постоянной времени, не превышающей 3 мс. Двигатели характеризуются низким моментом магнитной фиксации, а благодаря автоматизированному производству отличаются неизменно высокими качеством, надежностью и непревзойденным сроком службы.</p>
EC-i	
	<p>Серия тахоп EC-i – это экономичное исполнение бесколлекторных двигателей постоянного тока с диаметром от 30 до 52 мм и мощностью от 30 до 180 Вт. Высокие динамические характеристики двигателя достигаются благодаря внутреннему многополюсному ротору, при этом гарантируется механическая постоянная времени, не превышающего 3 мс, высокий удельный момент и скорости до 15 000 об/мин. Двигатель серии тахоп EC-i – оптимальный выбор для тех случаев, когда пространство ограничено, но требуются высокие крутящие моменты и хорошие динамические характеристики. Хотя эти бесколлекторные двигатели постоянного тока с обмоткой со стальным сердечником благодаря оптимизированной магнитной цепи обладают очень большим крутящим моментом, они при этом демонстрируют очень низкий момент магнитной фиксации. Надежная конструкция со стальным фланцем и корпусом обеспечивает универсальность применения. Хотя сборка двигателя осуществляется в Корее, это гарантирует не только неизменно высокое качество тахоп, но и позволяет предложить более низкую цену.</p>
EC flat	
	<p>Двигатели серии тахоп EC flat доступны с наружным диаметром от 43 до 90 мм и скоростями вращения до 25 000 об/мин. Это оптимальный выбор для тех случаев, когда пространство ограничено, но требуются высокие крутящие моменты и динамика. Высокие моменты обеспечиваются благодаря внутреннему многополюсному ротору двигателя. Доступны двигатели тахоп EC flat с датчиками Холла и встроенной электроникой. Кроме того, из-за открытой конструкции у них прекрасная теплоотдача при более высоких скоростях вращения. Благодаря своей плоской конструкции двигатели тахоп отлично подходят для различных применений. Хорошо продуманная простая концепция позволяет использовать при сборке автоматизированное производство, что гарантирует неизменно высокое качество тахоп, а также позволяет предложить более привлекательную цену.</p>
EC frameless flat	
	<p>Отличительная особенность бесколлекторных двигателей постоянного тока серии тахоп EC frameless flat (плоские, бескорпусные) в том, что их ротор и статор поставляются отдельно – без подшипников и вала двигателя, которые присоединяются только при сборке компонентов внутри готового изделия. Это позволяет компактно интегрировать бескорпусные двигатели в любую область применения. Бескорпусные двигатели обеспечивают оптимальные показатели удельного момента и минимального объема. У них высокая перегрузочная способность, низкий момент магнитной фиксации и достаточное пространство для кабельных вводов. Двигатели серии тахоп EC frameless flat чрезвычайно компактны и доступны с наружным диаметром от 43 до 90 мм.</p> <p>Особенности двигателей тахоп этого исполнения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • большой момент благодаря многополюсной конструкции двигателя; • датчик контроля температуры (термистор NTC); • компактная установка. <p>Для гарантии оптимальной установки к двигателю приложена инструкция по монтажу с подробной спецификацией.</p>



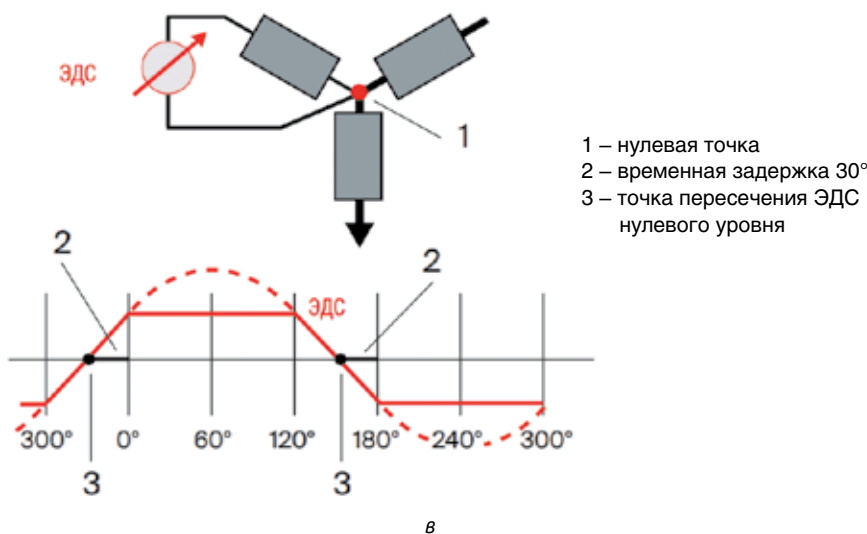
а

Состояния	I	II	III	IV	V	VI
Положение ротора	60	120	180	240	300	360
Датчик Холла 1	0	1	1	1	0	0
Датчик Холла 2	1	0	0	1	1	1
Датчик Холла 3	1	0	1	0	0	1

Линейные напряжения на двигателе



б



в

Рис. 2. Варианты коммутации обмоток бесколлекторных двигателей постоянного тока таход: а – формы токов при различных видах коммутации; б – временная диаграмма ступенчатой коммутации при использовании датчиков Холла; в – временная диаграмма ступенчатой коммутации без использования датчиков

грузки на валу. Кроме того, в момент старта двигателя без датчиков возможны вращательные колебания оси двигателя в разные стороны. Если это критично для конечного приложения, то необходимо применять двигатели с датчиками. Не менее важный вопрос – это минимальная скорость, которую можно обеспечить с датчиками Холла или для бездатчикового двигателя. Управление по датчикам Холла позволяет достичь более низких скоростей, чем бездатчиковое управление, хотя и не таких низких, как управление с обратной связью по датчику положения.

Еще один важный момент – это режим коммутации обмоток двигателя. Коммутация может быть ступенчатая или синусоидальная.

При синусоидальной коммутации для получения с помощью электроники синусоидального тока в обмотках двигателя используются датчики положения высокого разрешения. Точки, протекающие через три обмотки двигателя, зависят от положения ротора и сдвинуты в каждой фазе на 120° (синусоидальная коммутация). Это приводит к плавному и точному движению и, как следствие, к высокому качеству управления движением.

Особенности синусоидальной коммутации: требует применения более дорогой электроники, отсутствие пульсаций момента, плавное движение даже на низких скоростях, способность развивать момент примерно на 5% больший, чем при ступенчатой коммутации. Этот тип коммутации применяется для высокодинамичных сервоприводов и при решении задач позиционирования.

Ступенчатая, или блочная, коммутация может быть реализована как в двигателях с датчиками Холла, так и без них. В первом случае положение ротора определяются тремя встроенными датчиками Холла. Расположение датчиков Холла с шагом 120° обеспечивает шесть различных комбинаций переключения на один оборот. Три секции обмотки в соответствии с информацией от датчиков подключаются в шести различных состояниях коммутации. Кривые тока и напряжения имеют ступенчатый вид. Для получения максимального момента момент переключения каждой фазы смещен на 30°.

Особенности ступенчатой коммутации: электроника относительно

простая и привлекательная по цене, пульсация момента составляет примерно 14%, управляемый пуск двигателя, возможность высоких значений пускового тока и ускорения. Этот тип коммутации находит применение в сервоприводах, при работе в старт-стоповых режимах и при решении определенных задач позиционирования. При выборе двигателей необходимо помнить, что данные в спецификациях на бесколлекторные двигатели постоянного тока тахоп указаны для изделий именно со ступенчатой коммутацией.

Если используется ступенчатая коммутация без датчиков положения, то положение ротора определяется по изменению индуцируемого в обмотке напряжения (ЭДС). Электроника платы управления выделяет момент перехода ЭДС через нуль и коммутирует ток двигателя через интервал, зависящий от скорости вращения вала (30° электрических после прохождения ЭДС через нуль). Амплитуда индуцируемой ЭДС зависит от скорости. При неподвижном роторе или низкой скорости этот сигнал слишком мал, и пересечение нулевой отметки не может быть точно определено. Поэтому для пуска в ход требуются специальные алгоритмы (сходные с управлением шаговым двигателем). Чтобы обеспечить коммутацию бесколлекторных двигателей постоянного тока без при-

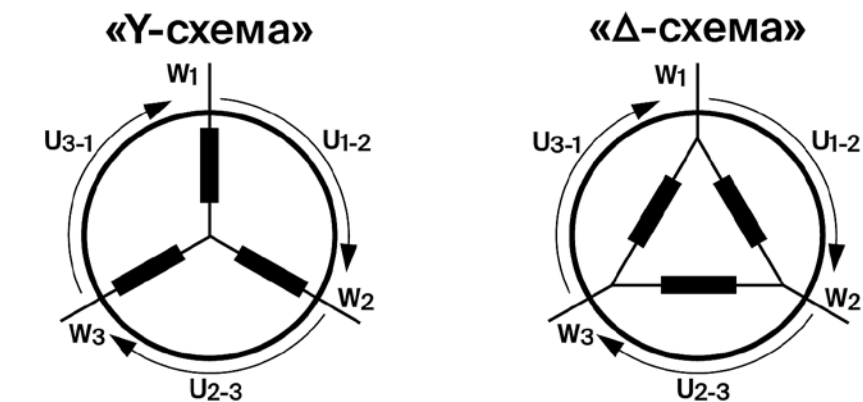


Рис. 3. Схемы включения обмоток бесколлекторных двигателей постоянного тока тахоп «звездой» и «треугольником»

менения датчиков, обычно с помощью электроники создается искусственная нулевая точка.

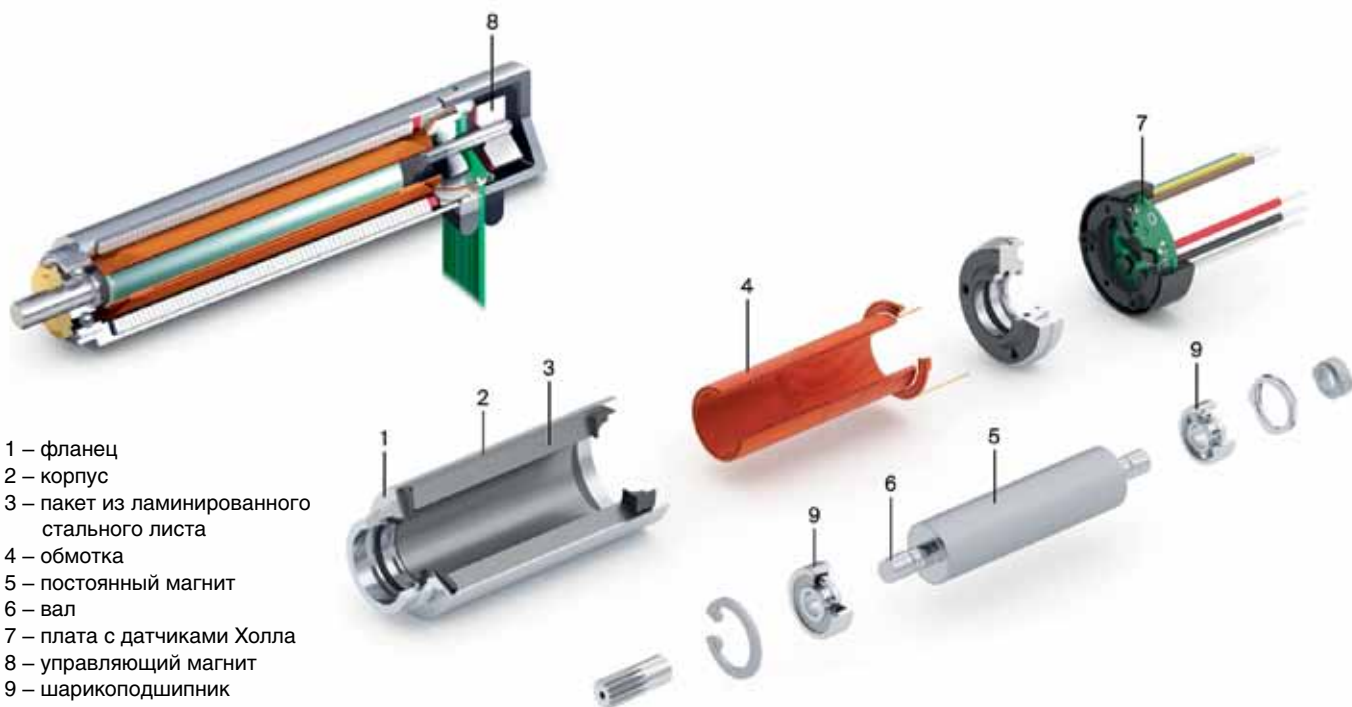
Особенности бездатчиковой ступенчатой коммутации: пульсация момента около 14%, неопределенный момент пуска, неприменимость для работы на низких скоростях и для высокودинамичных приложений, такой двигатель преимущественно используется для длительной работы на высоких скоростях. Пояснение изложенных выше принципов коммутации показано на рис. 2.

Что касается организации обмоток, то ромбическая фирменная обмотка статора двигателей тахоп разделена на три секции, магнитные оси которых смещены на 120°. Секции

обмотки могут быть соединены двумя различными способами — «звездой» (Y-схема) или «треугольником» (Δ-схема) (рис. 3).

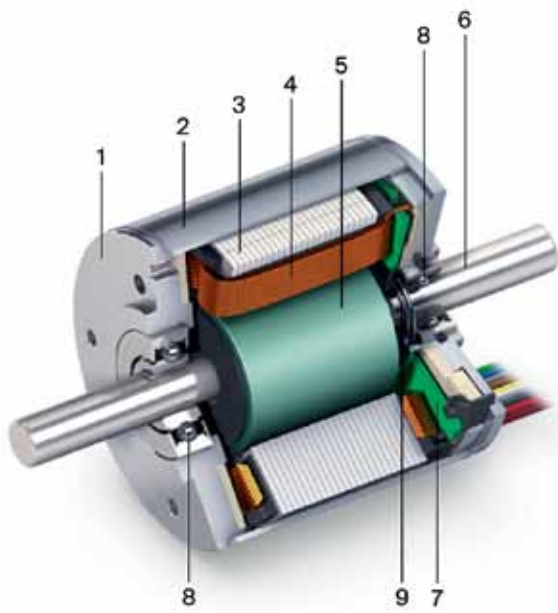
Конструктивные особенности бесколлекторных двигателей постоянного тока тахоп

В настоящий момент тахоп предлагает бесколлекторные двигатели постоянного тока с обмоткой без стального сердечника (рис. 4) и со стальным сердечником (рис. 5). Среди последних представлены двигатели с внутренним ротором (EC-i) и с внешним ротором (EC flat, EC frameless flat). Такое разнообразие удовлетворит любые требования клиентов компании как по области применения,



- 1 – фланец
- 2 – корпус
- 3 – пакет из ламинированного стального листа
- 4 – обмотка
- 5 – постоянный магнит
- 6 – вал
- 7 – плата с датчиками Холла
- 8 – управляющий магнит
- 9 – шарикоподшипник

Рис. 4. Общая конструкция бесколлекторного двигателя постоянного тока тахоп с обмоткой без стального сердечника



- 1 – фланец
- 2 – корпус
- 3 – пакет из ламинированного стального листа
- 4 – обмотка
- 5 – постоянный магнит
- 6 – вал
- 7 – плата с датчиками Холла
- 8 – шарикоподшипник с предварительным поджатием
- 9 – пружина предварительного поджатия подшипника

Рис. 5. Общая конструкция бесколлекторного двигателя постоянного тока тахоп с обмоткой со стальным сердечником: *слева* – двигатель серии EC-i со стальным сердечником и внутренним ротором; *справа* – двигатель серии EC flat со стальным сердечником и внешним ротором

так и по мощности, и по конструктивному исполнению.

Возможные применения бесколлекторных двигателей постоянного тока тахоп:

- ▶ высокочастотные сервоприводы;
- ▶ работа в старт-стоповых режимах;
- ▶ задачи позиционирования.

Характеристики и особенности бесколлекторных двигателей постоянного тока тахоп с обмоткой без стального сердечника серий ECX Speed, ECX SQUARE, ECX TORQUE, EC, EC-max и EC-4pole:

- ▶ длительный срок службы;
- ▶ высокий КПД;
- ▶ линейные характеристики двигателя, превосходная управляемость;
- ▶ обмотка без стального сердечника, выполненная по фирменной технологии system тахоп, с тремя фазами на статоре;
- ▶ самая низкая электрическая постоянная времени и низкая индуктивность;
- ▶ отсутствие магнитной фиксации;
- ▶ хорошая теплоотдача, высокая перегрузочная способность;
- ▶ вращающиеся неодимовые постоянные магниты с одной или двумя парами полюсов;

▶ доступны исполнения: с датчиками Холла, без датчиков и со встроенной электроникой;

▶ имеются варианты, выдерживающие многократную стерилизацию и предназначенные для жестких условий эксплуатации.

Характеристики и особенности бесколлекторных двигателей постоянного тока тахоп с обмоткой со стальным сердечником серий EC-i, EC flat и плоских бескорпусных EC frameless flat, поставляемых в виде комплекта ротор-статор:

- ▶ длительный срок службы;
- ▶ скорости до 15000 об/мин;
- ▶ относительно высокий момент инерции;
- ▶ характеристики двигателей могут отличаться от строго линейных;
- ▶ для простого управления скоростью и положением используют сигналы от датчиков Холла;
- ▶ обмотка со стальным сердечником и несколькими зубцами на фазу на статоре;
- ▶ низкий момент магнитной фиксации;
- ▶ хорошая теплоотдача, высокая перегрузочная способность;
- ▶ многополюсные неодимовые постоянные магниты;

▶ меньшие коммутационные перепады;

▶ доступны исполнения: с датчиками Холла и без датчиков, а также со встроенной электроникой.

Литература

1. Brushless DC Motors // maxon group: [сайт]. URL: <https://www.maxongroup.com/maxon/view/content/Overview-brushless-DC-motors> (дата обращения 24.08.2021).
2. Высокоточные приводы и системы. 2019/2020 [Электронный ресурс] / Maxon motor, 2019. URL: https://innodrive.ru/files/maxon_motor_Programma_201920_RU_.pdf (дата обращения 24.08.2021).
3. Новый эксклюзивный дистрибьютор maxon motor в России // Innodrive : [сайт]. URL: https://innodrive.ru/articles/news/maxon_motor_new_distributor_ru/ (дата обращения 24.08.2021).
4. Бесколлекторные двигатели maxon motor EC // Innodrive : [сайт]. URL: <https://innodrive.ru/catalog/beskollektomye-dvigateli-maxon-ec/> (дата обращения 24.08.2021).

О.С. Сергеев,
инженер по технической поддержке,
ООО «ИнноДрайв», г. Санкт-Петербург,
тел.: +7 (812) 317-7793,
e-mail: sales@innodrive.ru,
сайт: www.innodrive.ru