

УДК 681.527

**ПРИВОД 3D-ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО СОЗДАНИЕ
МОДЕЛИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ В ТЕМПЕ ДВИЖЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА**

Боюр И.Р., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная роботехника и мехатроника»*

Королев Д.В., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная роботехника и мехатроника»*

*Научный руководитель: Перминова Е.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Консультант: Калинин А.В., к.т.н., с.н.с.
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

gorod@bmstu.ru

В рамках курсового проекта 3-го курса по курсу ОКП поставлена задача разработки опорно-поворотного устройства 3D-лазерного сканера, обеспечивающего обзорное вращение сканирующего устройства. В качестве задач, которые необходимо будет решить на дальнейших этапах разработки конструкции сканера, можно выделить:

- создание лазерного измерителя дальности;
- создание оптико-механической системы сканирования;
- создание программно-аппаратных средств, обеспечивающих предварительную обработку и передачу информации;
- интеграция программно-аппаратных средств 3D-лазерного сканера в систему управления робототехнического комплекса и проведение испытаний в различных средах (в помещениях, индустриально-городской среде, на пересеченной местности);
- объединение 3D-лазерного сканера, видеокамеры и (или) тепловизора.

В состав блока управления (БУ), который будет разрабатываться на следующем этапе проектирования, будут входить:

- датчики положения ротора (ДПР) двигателя;
- аналогово-цифровой преобразователь;

- микропроцессор.

Ниже приведены технические требования к 3D-лазерному сканеру (табл. 1)

Таблица 1

Технические требования к сканеру*

Частота единичных измерений, Гц	1000000
Диапазон измерения дальности, м	1-100
Точность измерения дальности на расстоянии 25м, см	5
Сектор обзора по азимуту, градус	360(270,180,120)
Сектор обзора по возвышению, градус	120(90,60)
Интерфейс	Gigabit Ethernet
Ударное ускорение, м/с ²	≤300
Вибрационное ускорение в диапазоне частот 3..30 Гц, м/с ²	≤30
Интервал рабочих температур, °С	от -40 до +85
Масса, кг	≤15
Габариты, мм	≤300x500x300
Потребляемая мощность, Вт	W

*технические требования уточняются в процессе проектирования

Принцип работы 3D-лазерного сканера

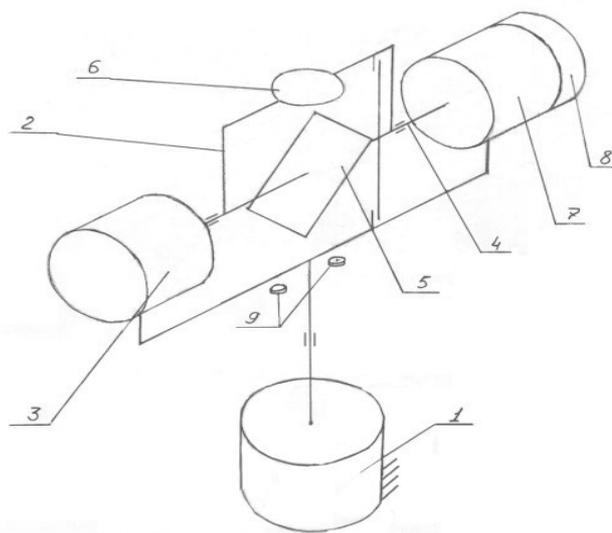


Рис. 1. Кинематическая схема сканера

В состав общей кинематической схемы одного из возможных вариантов устройства сканера входят (см. рис. 1): 1 - привод обзорного вращения с ДПР двигателя; 2 – корпус; 3 - источник и приемник лазерного сигнала; 4 – полый вал; 5 – зеркало; 6 - защитный пропускающий оптический элемент; 7 - двигатель; 8 - ДПР двигателя; 9 - концевые выключатели.

Источник и приемник лазерного сигнала 3 излучает и поглощает отраженный от объекта окружающего пространства лазерный луч света. После излучения сигнал проходит внутри полого вала 4 и попадает на отражающий оптический элемент – зеркало 5. Далее сигнал проходит через защитный пропускающий оптический элемент – окно 6 и попадает на объект сканирования. Отраженный лазерный сигнал возвращается в сканер тем же путем: он проходит через окно 6, отражается от зеркала 5 и попадает на поглощающий элемент приемника 3. Равномерное вращение полого вала 4 вокруг своей оси задается двигателем 7. Зеркало 5 закреплено под углом 45° к оси вращения полого вала 4. Привод 1 осуществляет обзорное вращение сканирующего устройства вокруг вертикальной оси. Концевые выключатели 9, ДПР двигателей необходимы для определения положения механизма. Данные рассогласования углов механизма между положениями излучения и поглощения лазерного луча в виде аналоговых сигналов поступают в аналогово-цифровой преобразователь, а затем - в микропроцессор, предназначенный для интеграции и обработки полученной информации. Один ДПР расположен на валу двигателя, осуществляющего поворотное движение сканера вокруг вертикальной оси, другой - на валу двигателя, осуществляющего вращение полого вала 4. С целью предупреждения спутывания и повреждения проводов во время работы сканера предусмотрено наличие вращающегося контактного устройства (ВКО). В процессе сборки привода обзорного вращения комплектуются микропроцессор, ДПР и ВКО.

В качестве первой задачи проектирования сканера ставится вопрос технического решения для конструкции привода обзорного вращения. Техническое задание на его разработку приведено ниже (табл. 2).

Таблица 2

Техническое задание привода

Частота вращения выходного вала, об/мин	60
Потребляемая мощность, Вт	≤ 14
Момент выходного вала, Н·м	2

Согласно техническому заданию, нужно решить задачу интеграции максимальной эффективности механизма и минимальных его габаритов. Сканер должен обеспечивать заданную точность измерений, из чего вытекает необходимость реализации высокоточных передач, с чем и связан выбор принципиальной кинематической схемы.

Принцип работы электромеханического привода

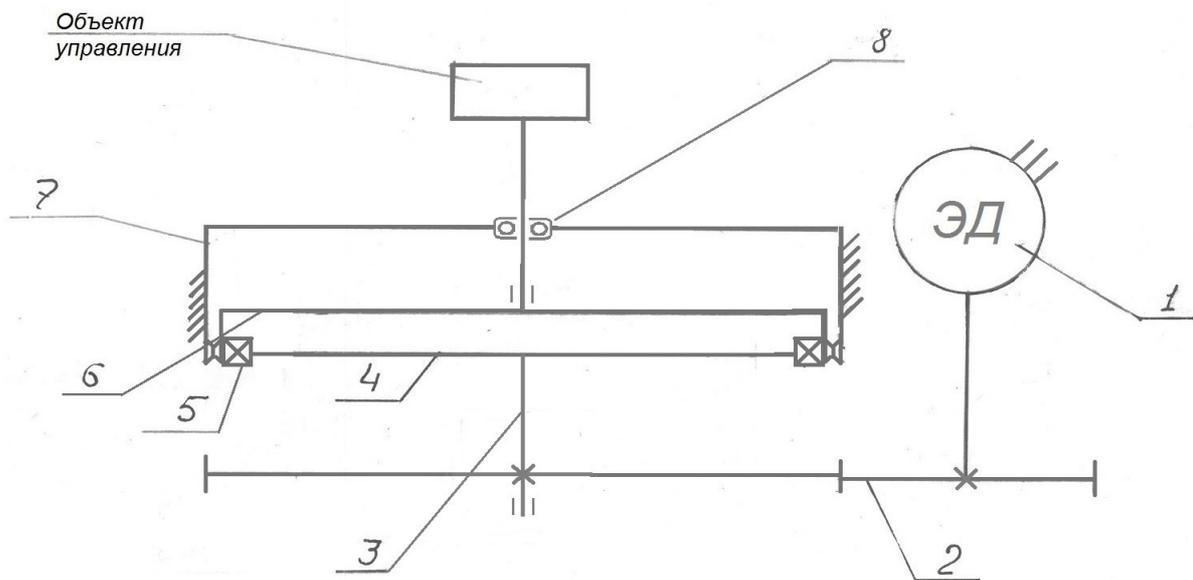


Рис. 2. Кинематическая схема привода

Движение от двигателя 1 (рис. 2) передается через зубчатую передачу 2 с косозубым зацеплением на полый вал 3, на котором закреплен кулачковый генератор волн 4. Внутреннее кольцо гибкого подшипника 5 запрессовано на генератор волн 4. На внешнем кольце шарикоподшипника 5 закреплено гибкое зубчатое колесо 6 с внешним зацеплением, которое входит в контакт с жестким неподвижным внешним колесом 7 с внутренним зацеплением. Количество зубьев у гибкого и жесткого колес различно (обычно один или два). Выходным звеном редуктора является гибкое колесо волновой передачи. Для защиты механизма от перегрузок установлена предохранительная муфта 8.

Современная промышленная индустрия уже давно использует данный принцип трансформации крутящего момента и окружной скорости. Подобные волновые передачи находят применение в приводах и редукторах производства компании Harmonic Drive.

Принцип работы передачи Harmonic Drive

На протяжении 30 лет компания Harmonic Drive устанавливает стандарты лучших инновационных инженерных разработок и проектов в области механики точных передач. Концепция передачи была впервые задумана в США и использовалась в авиационно-космических программах, стала стандартом для точных отраслей промышленности.

Достоинства передачи:

- отсутствие люфта;
- компактность и малый вес;

- возможность реконфигурации отношений внутри стандартного корпуса;
- высокая крутильная жесткость;
- коаксиальный входной и выходной валы;
- высокие передаточные отношения в небольшом объеме (от 30:1 до 320:1 (ср. планетарные передачи в том же объеме имеют передаточное отношение 10:1)).

Недостатки передачи:

- тенденция к упругим деформациям на резонансных частотах;
- потенциальная деградация с течением времени от механических ударов и воздействия окружающей среды.

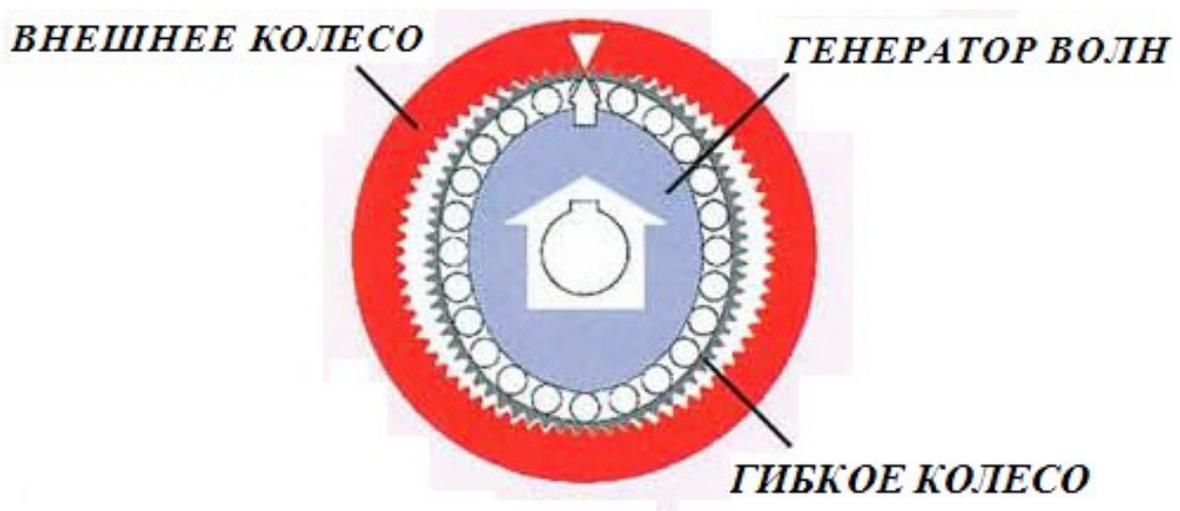


Рис. 3. Основные элементы передачи Harmonic Drive

Основными звеньями конструкции (рис.3) являются:

- генератор волн (генератор принудительной деформации, ГВ)– тонкий цилиндр эллиптической формы, на поверхность которого запрессовано внутреннее кольцо гибкого подшипника. Обычно служит в качестве входного звена;
- жесткое колесо (ЖК)- твердое колесо, имеющее внутренним профилем зубьев, которые входят в зацепление с зубьями гибкого колеса по главной оси генератора волн;
- гибкое колесо (ГК) – нежесткое колесо с внешним профилем зубьев. Хотя диаметр гибкого колеса меньше, чем у жесткого колеса, оно прогибается генератором волн под действием упругих сил.

Профиль зубьев

Технология передачи патентует новый вид профиля зубьев – сплайн (рис.4).

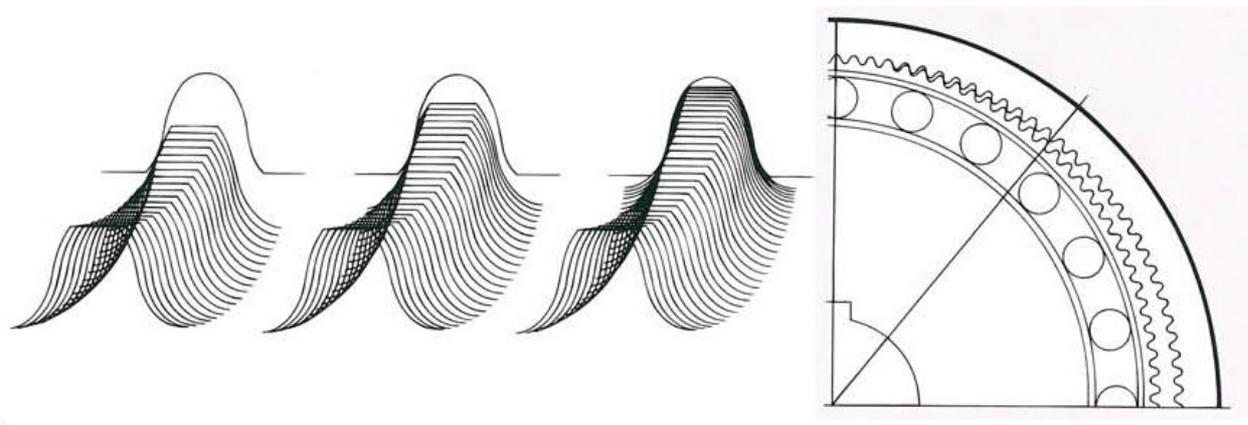


Рис. 4. Профиль зубьев передачи Harmonic Drive

Новый профиль зубьев обеспечивает возможность зацепления до 30% всех зубьев (по сравнению с традиционным для волновых передач типом профиля – 15%), что значительно увеличивает крутильную жесткость конструкции. Основание зуба увеличено, что приводит к росту допустимого напряжения и нагрузочной способности передачи. Более того, увеличение части зуба, участвующего в зацеплении, приводит к более равномерной загрузке передачи, что значительно увеличивает срок ее службы.

Механизм передачи

Из всего многообразия различных режимов работы передачи необходимо выбрать наиболее подходящий для решения поставленной задачи, а именно: обеспечение наибольшего передаточного отношения и КПД при минимальных габаритных размерах.

$$i = \frac{\omega_{\text{ВХ}}}{\omega_{\text{ВЫХ}}}$$
$$\eta = \frac{M_{\text{ВЫХ}} \cdot \omega_{\text{ВЫХ}}}{M_{\text{ВХ}} \cdot \omega_{\text{ВХ}}}$$

Основным режимом работы передачи является такое ее положение, при котором входным звеном является ГВ, а выходным – ГК. При этом ЖК закреплено. Входная $\omega_{\text{ВХ}}$ и выходная $\omega_{\text{ВЫХ}}$ скорости имеют разное направление.

Передаточное отношение в таком случае принимает вид

$$i = \frac{Z_{\text{Г}}}{Z_{\text{Ж}} - Z_{\text{Г}}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{Г}}$ – число зубьев ГК; $Z_{\text{Ж}}$ – число зубьев ЖК.

Числа зубьев ГК и ЖК связаны соотношением

$$Z_{\text{ж}} - Z_{\text{г}} = \dot{\nu} \cdot k_z,$$

где $\dot{\nu}$ – число волн; $k_z = 1, 2, 3 \dots$ – показатель кратности. С увеличением k_z растет радиальная деформация ГК и напряжение изгиба ГК. Как правило, $k_z = 1$. Для двухволновой передачи $Z_{\text{ж}} - Z_{\text{г}} = 2$.

Положим, что $Z_{\text{г}} = 100$, $Z_{\text{ж}} = 102$. Тогда согласно (1), получим:

$$i = \frac{100}{102 - 100} = 50$$

Таким образом, за один оборот генератора волн гибкое колесо смещается относительно жесткого на два зуба, что соответствует передаточному отношению, равному 50.

Эффективность (КПД)

КПД передачи зависит от входной скорости, передаточного отношения, нагрузки, температуры и типа смазки. Эффекты от этих факторов при номинальной входной скорости 2000 об/мин и смазки типа масло (рис. 5а) и СОЖ (рис. 5б) представлены на графиках ниже.

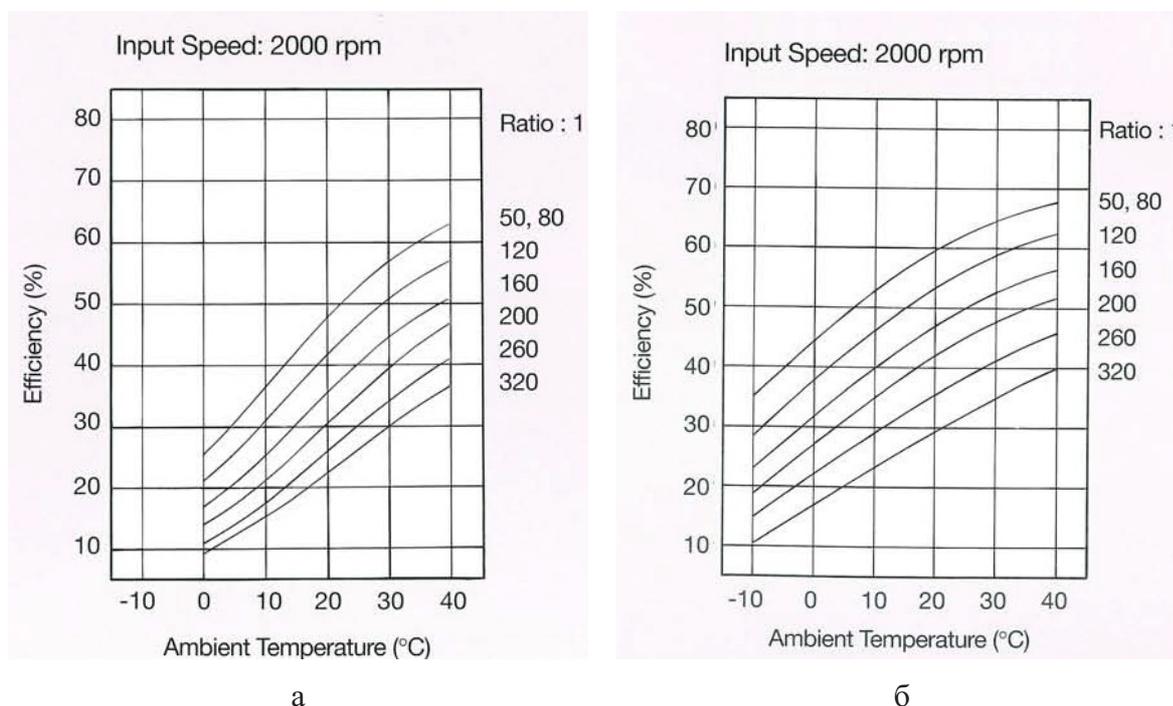


Рис. 5. Эффективность передачи Harmonic Drive

Input speed - входная скорость; ambient temperature - температура окружающей среды; efficiency - КПД; ratio - передаточное отношение.

Обоснование выбора двигателя

При разработке конструкции согласно данным технического задания необходимо исходить из условия минимизации габаритных размеров, что и обуславливает применение двигателя серии EC Flat из Maxon EC-motors.

Бесколлекторные ЕС двигатели постоянного тока Maxon motor (серии ЕС, ЕС-max, ЕС flat motor)

Maxon EC-motors — бесколлекторные серводвигатели постоянного тока (рис. 6 а, б), выходящие в диапазоне мощностей от 0,03 до 400 Вт диаметром от 6 до 90 мм. В семейство двигателей входят как серии традиционных бесколлекторных двигателей, так и серии со встроенным датчиком Холла и плоские двигатели. При производстве серий ЕС-двигателей используются современные технологии и разработки: полый ротор, усиленные подшипники, схемы электронной коммутации, магниты с улучшенными характеристиками (Nd2Fe14B). Двигатели данного семейства отличаются такие качества, как высокие скорости вращения (до 100000 об/мин), малая постоянная времени, линейность рабочих характеристик, большой ресурс, высокие возможности управления.

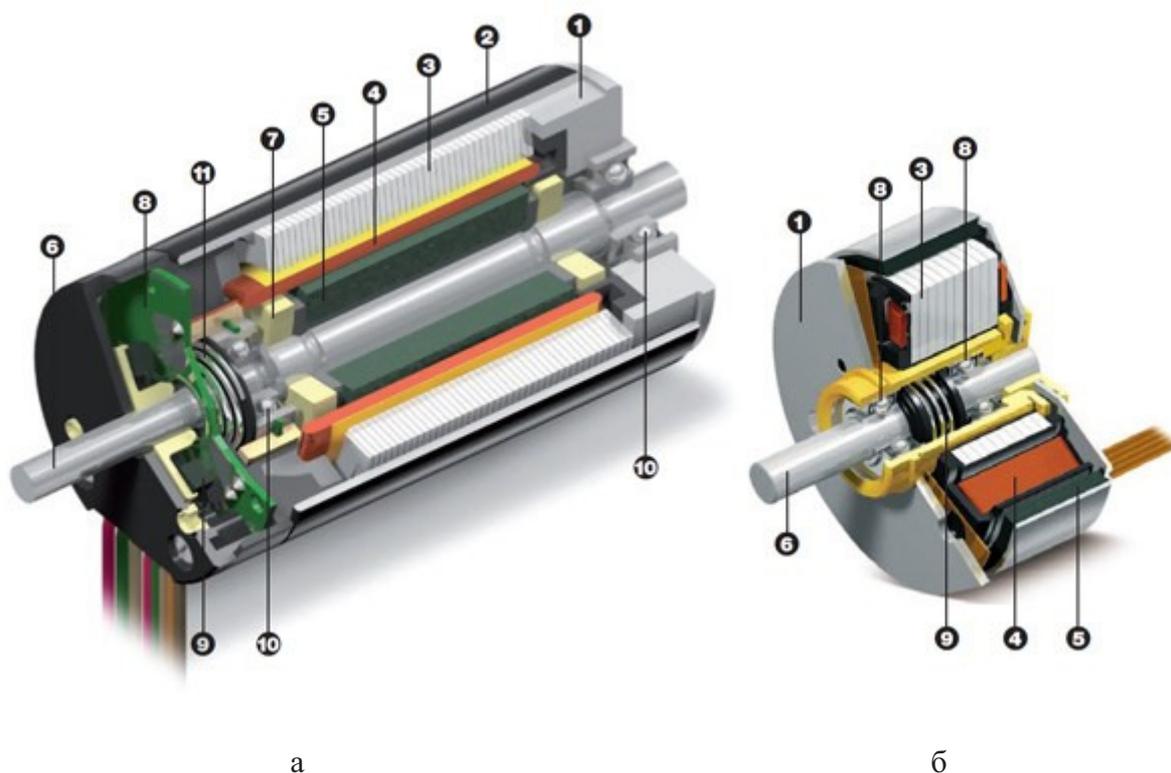


Рис. 6. Двигатели maxon motor

В состав двигателя входят: 1 - фланец; 2 - корпус; 3 - пакет из ламинированного стального листа; 4 – обмотка; 5 - постоянный магнит; 6 – вал; 7 - балансировочный диск; 8

- плата с датчиками Холла; 9 - управляющий магнит; 10 - шарикоподшипник; 11 - пружина предварительного натяга подшипника.

Конструкция и принцип действия

В основе работы двигателя лежит синхронный принцип действия (синхронное изменение ЭДС и скорости). Ротор (вращающаяся часть) — это постоянный магнит, закрепленный на двухконцевом вале. Неподвижная часть включает в себя корпус, изготовленный из стали или алюминия, и обмотку двигателя (3 фазы с 3 обмотками, объединенными либо в «звезду», либо в «треугольник»). Когда к обмоткам приложено напряжение, сдвинутое друг относительно друга на 120° , в статоре генерируется вращающееся поле. Поскольку ротор — активный элемент, то магнит всегда стремится занять своё положение по линии магнитного поля. Таким образом, переключая линии магнитного поля, получим вращение ротора. На вале двигателя стоит датчик положения ротора (датчик Холла), с ним по принципу обратной связи соединён коммутатор (любой контроллер или сервоусилитель), управляющий ключами силового каскада усиления мощности (транзисторами MOSFET), к которым подключены обмотки двигателя. В зависимости от угла поворота коммутатор переключает транзисторы. Так происходит последовательное переключение обмоток, дающее вращение ротора двигателя. Коммутатор и датчик Холла — это аналог щеточно-коллекторного узла DC -мотора.

Достоинства бесколлекторного двигателя по сравнению с коллекторным исполнением:

- более высокая надежность работы (нет щеточно-коллекторного узла, следовательно, нет искрения на больших скоростях вращения);
- меньшее трение дает линейность регулировочной характеристики и меньший уровень электромагнитного шума;
- более высокий срок службы мотора;
- применение в конструкции мотора балансировочных колец, которые обеспечивают стабильность работы при больших скоростях вращения (до 40000 об/мин).

Недостатки бесколлекторного двигателя:

- на очень низких скоростях вращения могут появляться пульсации, вызванные дискретным переключением обмоток двигателя;
- для обеспечения большей точности и плавности работы при управлении на очень высоких скоростях нужно применять энкодер с высокой разрешающей способностью, который сможет дополнительно производить около 2000 измерений;
- большее количество проводов от мотора: всего 8 (3 - обмотки мотора, 3 - ДПР (датчик Холла), 1 - заземление, 1 - питание ДПР);

- для электронного переключения обмоток ротора необходим блок управления.

Особенности конструкции двигателя ЕС flat (см. рис. 6б):

- двигатель имеет внешний ротор;
- многополюсный (8 - 24) постоянный магнит, который, как и у ЕС двигателя, сделан из сплава;
- статор имеет 3 фазы, объединенные только в «звезду»;
- есть усиленные подшипники качения, что позволяет расширить диапазон осевых нагрузок;
- хорошо подходят для повторяющихся операций.

Заключение

Так же как и ко многим другим механизмам, к приводу лазерного сканирующего устройства предъявляются жёсткие требования по передаваемой мощности, точности и габаритам. Для получения достойного результата следует в первую очередь обратить внимание на оптимизацию основного элемента редукции, которым в нашем случае является одноступенчатая волновая передача. В данной статье был подробно рассмотрен его принцип действия, его конструктивные особенности и основные преимущества. Данный способ передачи момента характеризуется минимальными размерами при больших передаточных отношениях, что важно как для разведывательных военных, так и для бытовых сканирующих устройств. Предохранительная муфта дополняет передачу, защищая гибкое звено от разрушения по вине внешних воздействий, а зубчатая передача позволяет передавать достаточную мощность, не превышая максимально допустимую входную скорость вращения вала на волновой передаче. Следовательно, основная задача – разработать привод обзорного вращения сканера с минимальными габаритами, сохранив достаточную мощность и точность, – была достигнута.

Список литературы

1. Справочник конструктора точного приборостроения / Г.А. Веркович и др.; под общ. ред. К.Н. Явленского, Б.П. Тимофеева, Е.Е. Чаадаевой. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 782с, ил.
2. Элементы приборных устройств. Курсовое проектирование / Под ред. О.Ф. Тищенко. М.: Высш. Шк., 1978. Ч.1. 304с.; Ч. 2. 263с.
3. Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании: учебное пособие: В 2 ч. Ч.1 / И.С. Потапцев, Н.И. Нарыкова, Е.А. Перминова, А.А. Буцев. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 78с; Ч.2 / И.С. Потапцев, Н.И.

Нарыкова, Е.А. Перминова, А.А. Буцев и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. 80с

4. Каталог двигателей Maxon EC motors//AVITON.SPB.RU:сайт компании «Авитон».2012.URL.http://aviton.spb.ru/catalog/elektroprivodyi/details/general_maxon/ec/ (дата обращения: 5.03.2013).
5. Каталог продукции Harmonic Drive AG «Precision in Motion. Catalogue», 2007-2008 гг.