

СЕРВОПРИВОДЫ HARMONIC DRIVE: ВЫСОКОТОЧНЫЕ И НАДЕЖНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ШИРОКОГО КРУГА ЗАДАЧ

О.Сергеев sergeev_o@aviton.spb.ru

С момента основания компания Harmonic Drive (Германия) специализировалась на производстве высокоточных безлюфтовых волновых редукторов. Со временем линейка продукции дополнилась интегрированными сервоприводами, на базе которых можно создавать комплексные решения для построения приводных систем. По мере развития этого направления расширялся ассортимент выпускаемых изделий – в настоящее время компания предлагает десять серий сервоприводов различного назначения. Прецизионные приводные решения от Harmonic Drive применяются в самых разных областях – от станкостроения, связи и медицины до аэрокосмической отрасли и робототехники. В статье представлен обзор современных серий сервоприводов производителя.

Нarmonic Drive выпускает серии сервоприводов различных конструкций и в разном исполнении – как для промышленных, так и специальных условий эксплуатации, с полым валом и без него, с редуктором и без редуктора, а также моментные двигатели (см. таблицу). Основная часть этих изделий производится с синхронными двигателями и волновыми редукторами, хотя в каталоге представлены отдельные серии, в которых используются коллекторные двигатели постоянного тока или высокоточные планетарные редукторы.

Сервоприводы Harmonic Drive представляют собой высокоинтегрированные решения, в состав которых входят двигатель, редуктор, датчики обратной связи и тормозная муфта. Основу конструкции составляет синхронный двигатель собственного производства, который вместе с волновым редуктором размещается внутри корпуса. Для улучшения массогабаритных показателей сервопривода волновые редукторы могут применяться в виде установочных комплектов. В отличие от редукторов модульного исполнения установочные комплекты содержат только три основные детали волнового редуктора без дополнительных элементов. Вал, подшипник и крепежный фланец добавляются

разработчиком при встраивании волнового редуктора в готовое изделие.

Отдельная часть конструкции сервопривода – подшипниковый узел с выходным и крепежным фланцами. Благодаря перекрестно-роликовым подшипникам сервоприводы выдерживают значительные осевые и радиальные нагрузки. Важной частью конструкции является полый вал, который проходит сквозь сервопривод по всей его длине. Внутреннее пространство вала можно использовать для передачи сигналов всех видов. Поскольку полый вал вращается со скоростью выходного вала, датчик положения выходного вала привода можно разместить в одном отсеке с датчиками положения, закрепленными на валу двигателя. В этом же отсеке находятся тормозная муфта, устанавливаемая на валу двигателя, кабельные выводы или разъемы. По такой схеме разработано несколько серий сервоприводов, представленных в каталоге: **CHA, FHA-C и FHA-C mini**.

Каждая серия сервоприводов Harmonic Drive предусматривает изделия нескольких габаритов, которые различаются между собой производительностью и размерами, а обозначаются по габариту используемого редуктора. Например, для волновых редукторов габариты сервопривода соответствуют диаметру гибкого кольца волнового редуктора в десятых долях дюйма.

Особенности различных серий сервоприводов Harmonic Drive

| Серия | СНА | FHA-C | FHA-C mini | LynxDrive | FPA | RSF mini | PMA |
|------------------------|-----|-------|------------|-----------|-----|----------|-----|
| Тип двигателя: | | | | | | | |
| Синхронный | • | • | • | • | • | • | |
| ДПТ | | | | | | | • |
| Тип редуктора: | | | | | | | |
| Волновой | • | • | • | • | | • | • |
| Планетарный | | | | | • | | |
| Тип выхода: | | | | | | | |
| Полый вал | • | • | • | | | | |
| Фланец без полого вала | | | | • | • | | |
| Сплошной вал | | | | | | • | • |

Благодаря такому обозначению редукторы одного и того же габарита имеют одинаковые допустимые моменты на выходе. Кроме того, для каждой серии предусмотрено значительное количество опций и вариантов исполнения.

РЕДУКТОРНЫЕ СЕРВОПРИВОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Серия **СНА** – одна из самых популярных серий сервоприводов Harmonic Drive с полым валом (рис.1) – выпускается в широком диапазоне размеров и производительности: от 9 Нм (габарит 14) до 1840 Нм (габарит 58). В качестве редуктора в изделиях данной серии используются модули CPU-H, которые обеспечивают достаточно высокий выходной момент и снабжены полым валом большого размера. В изделиях серии СНА для установки на вал двигателя предлагается множество различных датчиков: инкрементальные энкодеры с синусоидальным и прямоугольным сигналами, абсолютные одно- и многооборотные энкодеры с интерфейсами SSI и EnDat, а также резольверы. Для установки на выходном валу доступен однооборотный абсолютный энкодер с интерфейсом EnDat. Для изделий всех габаритов предусмотрены тормозные муфты, устанавливаемые на вал двигателя.

В 2014 году серия сервоприводов СНА пополнилась изделиями двух младших габаритов: 14 и 17. Новые модели позволили расширить линейку за счет более компактных решений. В отличие от моделей больших габаритов для СНА-14А и СНА-17А резольверы и инкрементальные энкодеры с прямоугольными импульсами являются стандартными опциями, равно как и исполнение двигателя с обмотками на низкое напряжение (48 В в цепи питания контроллера).

Серия **FHA-C**, как и СНА, представляет собой сборку синхронных серводвигателей с волновыми редукторами с полым валом (рис.2). Однако в качестве редукторов в данном случае используются более производительные изделия серии CSD-2A (установочный комплект). Сервоприводы серии FHA представлены более ограниченным модельным рядом: от 64 Нм (габарит 17) до 823 Нм (габарит 40). Благодаря усиленному редуктору момент у сервоприводов серии FHA-C больше на 20–50%, чем у приводов СНА того же габарита. Габаритный диаметр приводов FHA-C также больше, чем диаметр изделий серии СНА на 20–40%. Кроме того, диаметр

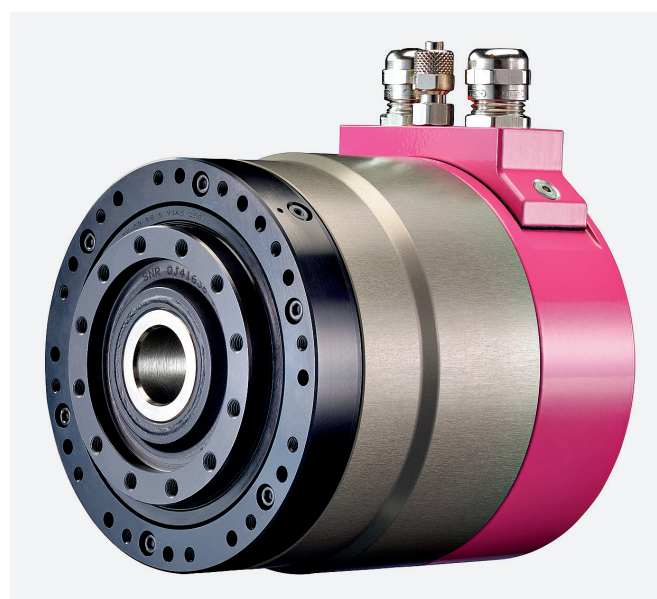


Рис.1. Сервопривод с волновым редуктором с полым валом серии СНА

полого вала изделий серии приводов FHA-C больше на 10–20%.

В изделиях серии FHA-C предусмотрены стандартные варианты датчиков положения для установки на вал двигателя (инкрементальные энкодеры с синусоидальным выходом или абсолютные энкодеры), также имеется возможность применения дополнительного энкодера на выходном валу сервопривода.

Еще одна серия сервоприводов с волновым редуктором и полым валом, входящая в новейший каталог Harmonic Drive, – **FHA-C mini**. Несмотря на схожее название, она представляет собой скорее самостоятельную серию, чем просто дополнение серии FHA-C изделиями меньших габаритов. Применение волновых редукторов HFUC-2A (установочный комплект) способствует улучшению массогабаритных показателей привода. В отличие от рассмотренных выше серий FHA-C mini состоит из моделей малых габаритов: от 8 (1,8 Нм) до 14 (28 Нм). Серия отличается уменьшенными размерами, что достигается, в первую очередь, за счет применения менее мощного и более компактного двигателя. Если сравнить, например, габарит 14 серий FHA-C mini и СНА, то при равном кратковременном моменте на выходе (ограничение со стороны редуктора) сервопривод FHA-C mini будет иметь максимальный допустимый момент в длительном режиме на 40% ниже, чем СНА.

В серию FHA-C mini входят модели, рассчитанные как на сетевое питающее напряжение (до 330 В в звене постоянного тока), так и на низкое питающее напряжение (до 18 В в звене постоянного тока). В качестве датчиков в этой серии предлагаются инкрементальные энкодеры с прямоугольными выходными импульсами. Тормозные муфты в изделиях данной серии не предусмотрены.

Наряду с сериями сервоприводов, оснащенных полым валом, выпускаются сервоприводы традиционной конструкции без полого вала. Выходом в изделиях такой конструкции является фланец или сплошной вал в зависимости от размеров сервопривода.

Серия **LynxDrive** выпускается с использованием синхронных двигателей и волновых редукторов HFUC-2UH. В настоящее время серия LynxDrive представлена сервоприводами габаритов от 14 (9 Нм) до 40 (647 Нм). Все модели серии выпускаются для работы с сетевым питающим напряжением (напряжение звена постоянного тока до 680 В). Отсутствие полого вала положительно сказывается на размерах сервопривода: диаметр сервоприводов серии LynxDrive на 10–15% меньше, чем диаметр изделий серии СНА тех же габаритов. Кратковременные и длительные допустимые моменты для серии LynxDrive точно такие же, как и для серии СНА.

В качестве датчиков положения на валу двигателя для сервоприводов серии LynxDrive доступны абсолютные



Рис.2. Сервопривод с волновым редуктором с полым валом серии FHA-C

энкодеры и резольверы. При необходимости можно установить тормозную муфту на вал двигателя.

Недавно серия LynxDrive пополнилась изделиями двух новых габаритов: 14 и 17. Новые модели предоставляют разработчикам дополнительные возможности при создании систем, требующих небольших размеров. Для сервоприводов LynxDrive габаритов 14 и 17 стандартным датчиком положения является многооборотный абсолютный энкодер. Тормозная муфта для изделий этих габаритов устанавливается на заказ.

Еще одна серия серводвигателей, изготавливаемых на основе синхронных двигателей и волновых редукторов без полого вала, – малогабаритные решения **RSF mini**. В серию входят модели с габаритами от 3 (0,13 Нм) до 14 (28 Нм). Эта серия представлена самыми маленькими сервоприводами Harmonic Drive из числа изделий, доступных по стандартному каталогу. По сравнению с приводами FHA-C mini подобных габаритов модели серии RSF mini обеспечивают больший, на 30–50%, момент в длительных режимах работы. Предельные моменты кратковременных режимов работы, ограничиваемые конструкцией волнового редуктора, одинаковы для изделий этих двух серий. Продолговатая форма конструкции сервоприводов позволяет уменьшить диаметр примерно на 33% по сравнению с FHA-C mini, однако длина привода при этом увеличивается в 2–2,5 раза.

Для моделей серии сервоприводов RSF mini доступен один тип датчиков положения – инкрементальный энкодер на валу двигателя. Тормозная муфта доступна, но может быть установлена на изделиях не всех габаритов. Двигатели этой серии рассчитаны на низкое питающее напряжение (напряжение звена постоянного тока до 48 В).

Помимо сервоприводов с волновыми редукторами компания Harmonic Drive выпускает сервоприводы с низколюфтовыми планетарными редукторами собственной конструкции HPG, например, серию FPA, в которой используются синхронные двигатели. Отличительная особенность серии **FPA** – более высокие скорости на выходе сервопривода (до 1110 об/мин по сравнению с 280 об/мин у США). Это связано с применением планетарных редукторов, минимальная доступная редукция которых гораздо меньше, чем у волновых редукторов, что объясняется особенностями конструкции устройств. Так, для планетарных редукторов HPG минимальное значение редукции 3:1, для тех же моделей серии сервоприводов FPA минимальная редукция равна 9:1, а для волнового редуктора минимальная доступная редукция составляет 30:1. При почти одинаковых скоростях двигателей скорость на выходе сборок с планетарными редукторами выше.

Габариты сервоприводов серии FPA от 11 (3,9 Нм) до 32 (300 Нм). Кратковременный и длительный момент на выходе сервоприводов этой серии, как правило, ниже, чем у изделий серии США на 10–45%. На вал двигателя могут быть установлены датчики положения нескольких видов – инкрементальные и абсолютные энкодеры или резольвер. Все двигатели в серии



Рис.3. Сервопривод для жестких условий эксплуатации AlopexDrive

FPA выпускаются для работы с напряжением сетевого уровня (до 680 В в звене постоянного тока).

Серводвигатели серии **PMA** отличаются от остальных серий тем, что в них использованы коллекторные двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. В качестве редукторов применены волновые редукторы PMG в корпусированном варианте. В настоящее время серия PMA представлена моделями,

габариты которых от 5 (0,39 Нм) до 14 (9,3 Нм). Сравнивая представленные в каталоге Harmonic Drive сервоприводы серии PMA с моделями других серий компактных приводов, можно заметить, что кратковременный допустимый момент в этой серии изделий ниже примерно на 30%, чем в серии FNA, а длительный допустимый момент для отдельных моделей ниже на величину до 40%. Диаметр сервоприводов серии PMA такой же, как и моделей серии RSF mini, а их длина несколько больше (на 10–40%). Как и большинство других серий малогабаритных сервоприводов, серия RSF mini оснащается инкрементальными энкодерами с прямоугольным выходом. Установка тормозной муфты в изделиях этой серии не предусмотрена.

СЕРВОПРИВОДЫ ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Все серии сервоприводов, упомянутые в каталоге продукции Harmonic Drive, предназначены для работы в промышленных условиях. При решении задач, предполагающих более жесткие условия окружающей среды (в частности, широкий температурный диапазон, высокий уровень ударной и вибрационной нагрузки, воздействие атмосферных осадков), использование таких моделей не представляется возможным, несмотря на высокую точность и хорошие массогабаритные показатели. Для применения в таких системах компания Harmonic Drive предлагает специальные решения, например, модели серий **AlopexDrive** (рис.3) и **СНМ-Mil**.

Изделия серии AlopexDrive выпускаются с использованием синхронных серводвигателей, волновых редукторов и оснащаются полым валом. По производительности модели данной серии аналогичны серии сервоприводов СНА, их габаритные размеры также близки. Серия СНМ-Mil и промышленная серия СНМ схожи по производительности и размерам.

Серии Alopex Drive и СНМ-Mil были разработаны на основе серий СНА и СНМ, однако имеют целый ряд особенностей, соответствующих жестким условиям эксплуатации:

- **Алюминиевый корпус.** Прочный и легкий алюминиевый корпус обеспечивает надежную защиту от внешних воздействий, не увеличивая массу конструкции.
- **Противокоррозионное защитное покрытие,** например, Surtec650, которое надежно защищает от коррозии и допускает нанесение красочного слоя.
- **Специальные сорта смазки.** Работа в широком диапазоне температур требует применения специальных сортов смазки, которая закладывается в редуктор и в подшипники двигателя.

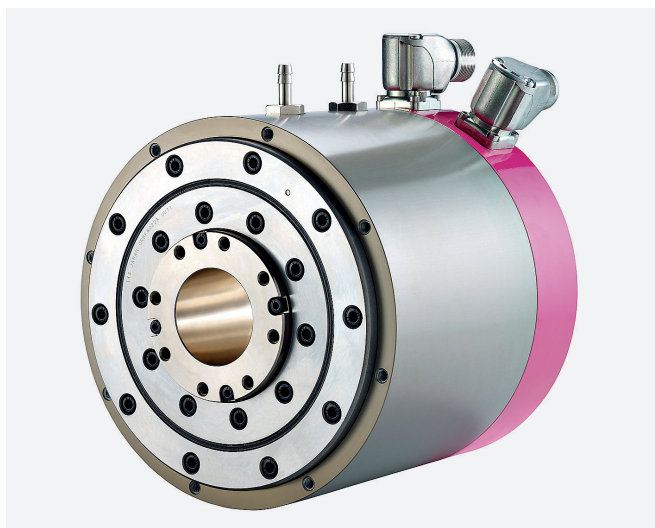


Рис.4. Моментный двигатель серии TorqDrive

- **Специальные марки проводов и кабелей,** которые сохраняют свои свойства при работе в широком диапазоне температур (например, стойкость к изгибам). В системах, работающих в жестких условиях, к проводам и кабелям часто предъявляются дополнительные требования, например, негорючесть.
- **Разъемы MIL-серии,** стойкие к повышенным ударам, вибрациям, различным атмосферным осадкам и способные работать при больших положительных и отрицательных температурах. К таким разъемам относятся, например, серии, выполненные по спецификации MIL-DTL-38999.
- **Высокая степень защиты** от проникновения пыли и воды внутрь корпуса. Как правило, используется степень защиты IP65 и выше, в то время как для сервоприводов Harmonic Drive промышленного назначения IP65 – максимальная степень защиты.
- **Низковольтные обмотки.** Системы, предназначенные для жестких условий, часто работают от аккумуляторных батарей или имеют шины питания низкого напряжения (обычно 24–48 В постоянного тока). Чтобы не допустить критического снижения производительности, сервопривод должен быть оснащен двигателем с обмоткой, рассчитанной на работу с низким напряжением.
- **Специальные типы датчиков обратной связи,** которые помимо высокой точности, обеспечивают широкий диапазон рабочих температур, являются стойкими к ударам и вибрациям, стабильно работают в условиях магнитных полей от двигателя. В частности, применяются резольверы различных производителей и индуктивные энкодеры (например, изделия компании Zettlex).

БЕЗРЕДУКТОРНЫЕ СЕРВОПРИВОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В линейке продукции Harmonic Drive наряду с редукторными сервоприводами, волновыми и планетарными редукторами представлены безредукторные решения. Предлагаются серводвигатели, оснащенные датчиками положения и тормозными муфтами, и моментные двигатели, выпускаемые в виде бескорпусных установочных комплектов.

Серия **СНМ** – это синхронные двигатели с полым валом, оснащенные датчиками положения и тормозной муфтой. Характерная особенность данных моделей – большой диаметр полого вала и короткая осевая длина. Компания выпускает серводвигатели серии СНМ нескольких габаритов – от 0083А (0,4 Нм) до 1100А (8,0 Нм). Все варианты двигателей этой серии предназначены для работы с высокими значениями питающего напряжения (напряжение звена постоянного тока 680 В). Доступно несколько вариантов датчиков положения, устанавливаемых на вал двигателя, в том числе инкрементальные синусоидальные, одно- и многооборотные энкодеры с интерфейсом

HiPerface. Для изделий всех габаритов доступна тормозная муфта.

Моментные двигатели **TorkDrive** (рис.4) выпускаются в бескорпусном варианте как комплекты ротора и статора. В отсутствие корпуса и подшипников двигателя можно оптимально встроить двигатель в конечное изделие, обеспечив тем самым эффективное и компактное решение. Датчики не входят в комплект поставки и устанавливаются в системе клиента. Выпускаемые модели моментных двигателей различаются по диаметру статора: от 100 до 370 мм, а изделия каждого из диаметров – по активной длине статора: от 30 до 70 мм. Двигатели серии TorkDrive обеспечивают моменты от 10 до 432 Нм. Все модели доступны с кожухом водяного охлаждения, при использовании которого увеличивается допустимый момент двигателя. Двигатели рассчитаны на высокие значения питающего напряжения (до 680 В в звене постоянного тока). Для некоторых габаритов двигателей (от 100 до 210) по заказу могут быть выпущены модели для работы с питающим напряжением до 48 В. ●