

ПРЕЦИЗИОННЫЕ МОТОР-РЕДУКТОРЫ С ПОЛЫМ ВАЛОМ

Ермолаев М.М., Синицына Ю.В. (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия)
Тел.: +7(916)5797862; E-mail: mmermolaev@gmail.com

Abstract: *The drive's construction of machine tools and industrial robots which require using precise hollow shaft reducers were analyzed. The disadvantages of modern reducers used in the same constructions have been indicated. The original cycloidal drive with hollow shaft has been introduced.*

Key words: *cycloidal drive, CNC machine tool, industrial robot.*

Приводы поворотных осей высокоточного технологического оборудования, такого как металлорежущие станки и промышленные роботы, часто выполняются на базе прецизионных мотор-редукторов. По сравнению с использованием встраиваемых высокомоментных электродвигателей, применение мотор-редукторов позволяет обеспечить большую жесткость, широкий диапазон максимальных крутящих моментов на выходном валу, небольшое время разгона и, во многих случаях, меньшую стоимость привода в целом. Помимо этих характеристик к редукторам предъявляются требования по точности, компактности, широкому диапазону передаточных чисел и высокому удельному выходному моменту (отношению выходного момента к массе редуктора). Компактность при высоком удельном выходном моменте может быть обеспечена за счет многопарности зацепления, что реализуется в планетарно-цевочных и волновых редукторах.

В ряде конструкций приводов станков и роботов требуются редукторы с полым выходным валом. Это бывает обусловлено необходимостью размещения внутри редуктора прочих механизмов или обрабатываемых заготовок. Рассмотрим несколько примеров подобных конструкций.

Грузоподъемность и инерционные характеристики шестиосевых промышленных роботов-манипуляторов непосредственно зависят от массы частей конструкции, перемещаемой вместе с полезным грузом. Поэтому массивные двигатели, обеспечивающие подвижность трех осей, ближайших к рабочему органу, обычно располагают с противоположной стороны «локтя» робота, а передачу крутящего момента на редукторы осей А4-А6 осуществляют за счет конических или зубчатоременных передач [3]. При этом редуктор оси А4 выполняется с полым выходным валом, внутри которого проходят быстроходные валы осей А5 и А6. Кроме этого, применение редукторов с полым валом в конструкциях промышленных роботов позволяет пропускать электро- и пневмопроводку через отверстие в приводе, что избавляет от необходимости использования кабель-каналов.

Редукторы с полым выходным валом используются в конструкциях поворотных столов для станков с ЧПУ. Полый выходной вал позволяет разместить внутри привода части механизма зажима или заготовку. Обычно поворотные столы с полым валом для станков с ЧПУ изготавливаются на базе червячных редукторов. Червячное зацепление обеспечивает достаточно широкий диапазон передаточных чисел и может быть реализовано с выборкой люфта, однако имеет большие габариты (поскольку в один момент времени нагрузка передается небольшим количеством зубьев) и низкий коэффициент полезного действия. Таким образом, перспективна замена червячных редукторов в приводах поворотных столов планетарно-цевочными.

Рассмотрим некоторые существующие модели соосных мотор-редукторов с полым выходным валом.

Фирма Nabtesco (ФРГ-Япония) предлагает ряд планетарно-цевочных редукторов RV-C [4] (см. рис. 1, а), выполненных по схеме $2k-v$ [1]. Для реализации редуктора по

схеме $2k-v$ с полым валом, двигатель необходимо сместить относительно оси редуктора. Это обеспечивается дополнительной зубчатой передачей (см. рис. 1, б).

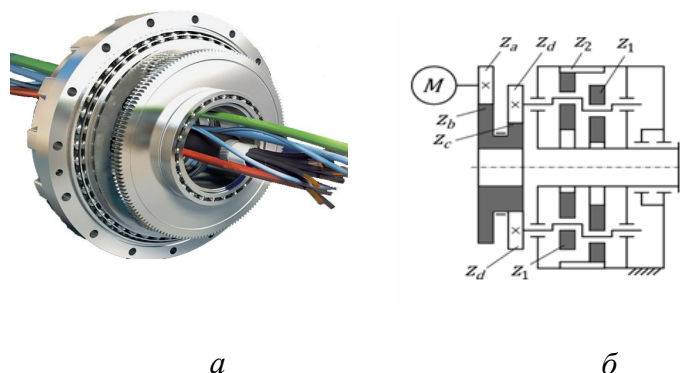


Рис. 1. Планетарно-цевочный редуктор $RV-C$ с полым валом фирмы *Nabtesco* [4]
 а – внешний вид, б – кинематическая схема

Работает мотор-редуктор $RC-V$ следующим образом. Колеса z_a, z_b, z_c, z_d имеют эвольвентный профиль и образуют быстроходную ступень редуктора. Двигатель M (см. рис. 1, б) приводит через передачу z_a-z_b солнечное колесо с числом зубьев z_c . Солнечное колесо через передачу z_c-z_d приводит во вращение несколько эксцентриковых валов (от двух до четырех), обеспечивая синхронизацию их вращения и равенство крутящего момента,

передаваемого этими валами. На эксцентриковые части валов через роликовые подшипники опираются сателлиты тихоходной ступени редуктора, имеющие зубчатый профиль с числом зубьев z_1 , образованный эквидистантой к укороченной эпициклоиде [2]. Согласованное вращение эксцентриковых валов сообщает сателлитам тихоходной ступени плоскопараллельное движение. Зацепляясь с цевками-роликами, количеством z_2 , расположенными в неподвижной обойме, сателлиты приходят во вращение вокруг собственной оси, передаваемое через опоры эксцентриковых валов на водило редуктора, являющееся выходным валом.

Передаточное число u такого редуктора может быть определено по формуле:

$$u = \left(1 + \frac{z_d}{z_c} \frac{z_2}{z_2 - z_1} \right) \frac{z_b}{z_a}$$

К недостатку данной конструкции можно отнести обилие зубчатых передач, не увеличивающих общее передаточное число (передача z_c-z_d фактически является мультипликатором). Следствием этого недостатка является снижение КПД (80...90% согласно [4]), увеличение суммарного момента инерции, приведенного к валу электродвигателя, увеличение стоимости редуктора в целом.

Авторами предложена оригинальная конструкция планетарно-цевочного мотор-редуктора с полым выходным валом, изображенная на рисунке 2, а.

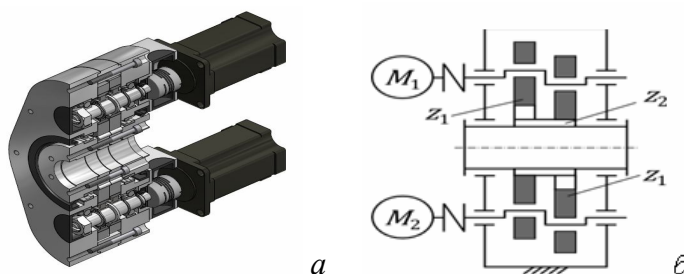


Рис. 2. Конструкция (а) планетарно-цевочного мотор-редуктора с полым выходным валом, предлагаемая авторами и его кинематическая схема (б)

Кинематическая схема редуктора (см. рис. 2, б) построена наподобие кинематической схемы редуктора $2k-v$ [1], но отличается от нее отсутствием быстроходной планетарной ступени. Вместо этого каждый эксцентриковый вал приводится во вращение отдельным электродвигателем, синхронизация вращения которых осуществляется

электроникой.

Работает редуктор (рис. 2, а) следующим образом. Синхронное вращение эксцентриковых валов сообщает сателлитам плоскопараллельное движение. Зубчатый профиль сателлита образован эквидистантой к укороченной гипоциклоиде [2], что позволяет ему зацепляться с цевками (роликами) в обойме выходного вала. Обойма выходного вала может быть выполнена из двух частей, каждая из которых снабжена отдельным набором цевок; это позволяет изготовить редуктор с очень малым угловым люфтом выходного вала.

Передаточное число редуктора может быть определено по формуле:

$$u = \frac{z_2}{z_2 - z_1},$$

где z_2 – число цевок в обойме, z_1 – число зубьев на сателлите. При разнице зубьев $z_2 - z_1 = 1$ подобный редуктор может быть изготовлен с диапазоном передаточных чисел от 20 до 80.

Из-за отсутствия быстроходной планетарной ступени, в сравнении с редукторами, выполненными по схеме $2k-v$, предлагаемая конструкция содержит меньшее число деталей, требующих высокой точности изготовления, не требует выборки люфта в быстроходной ступени и может быть изготовлена с более высоким коэффициентом полезного действия при условии достаточной точности в синхронизации вращения эксцентриковых валов.

Выводы:

1. В конструкциях металлообрабатывающих станков, промышленных роботов и другого технологического оборудования перспективно использование планетарно-цевочных мотор-редукторов с полым выходным валом, позволяющим разместить внутри привода электропроводку, заготовки, механические компоненты других приводов.
2. Существующие решения планетарно-цевочных приводов с полым выходным валом реализованы путем добавления к редуктору, выполненному по схеме $2k-v$ дополнительной быстроходной ступени, что приводит к понижению КПД, увеличению суммарного момента инерции, приведенного к валу электродвигателя, повышению стоимости привода в целом.
3. Предлагаемая оригинальная конструкция планетарно-цевочного редуктора с гипоциклоидальным зацеплением позволяет реализовать привод с полым валом без указанных выше недостатков.

Список литературы: 1. Иванов А.С., Фомин М.В., Ермолаев М.М. Кинематика планетарно-цевочных механизмов // Известия ВУЗов. Машиностроение, 2012, специальный выпуск. С. 37-42. 2. Иванов А.С., Ермолаев М.М., Чиркин А.В. Планетарно-цевочные передачи на основе эпициклоидального и гипоциклоидального зацеплений // Современное машиностроение. Наука и образование. 2014, №4. - С. 462-472. 3. Механика промышленных роботов / п. ред. Фролова К.В., Воробьева Е.И. М.: Высшая школа, 1988. – 367 с. 4. Nabtesco [Электронный ресурс]: High Performance Motion Control: Nabtesco Motion Control, Inc. USA, MI Farmington Hills, 2003. URL: <http://www.nabtescomotioncontrol.com> (дата обращения: 03.04.2015).