

ЧЕТВЕРТЬБОРОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД судовой арматуры

В.В. Николаев, главный конструктор направления работ –
руководитель группы приводов;
О.В. Епифанов, ведущий инженер-конструктор, группа приводов,
ОАО «Системы управления и приборы»

» В предыдущей статье* подробно рассмотрен четырехзвенный передаточный механизм для четвертьоборотного электропривода шарового крана. Данный механизм имеет переменную передаточную функцию, позволяющую более точно согласовать моментную характеристику электропривода с силовой характеристикой шарового крана, что позволяет в итоге избежать определенного «перезакладывания» по развиваемому моменту двигателя и мощности управляющей электроники при создании «прямого» (безредукторного) электропривода. Также, в отличие от зубчатых редукторов, широко применяемых в электроприводах, четырехзвенный передаточный механизм имеет более низкую виброактивность, что позволяет создавать малозумные приводы для специальной судовой четвертьоборотной арматуры.

* см. журнал «Арматуростроение» № 6-2015, с. 60.

Четвертьоборотный электропривод арматуры ЭПВМ-350

Для подтверждения принципа работы и основных технических характеристик Открытое акционерное общество «Системы управления

и приборы» разработало и изготовило макетный образец четвертьоборотного электропривода арматуры ЭПВМ-350 на основе четырехзвенного механизма. Общий вид электропривода показан на **рис. 1**.

Четвертьоборотный привод содержит высокомоментный электро-

двигатель на постоянных магнитах, четырехзвенный передаточный механизм и пускозащитную аппаратуру.

Структура электропривода показана на **рис. 2**.

В приводе использован четырехзвенный механизм, схема которого показана на **рис. 3**.



Рис. 1. Общий вид электропривода ЭПВМ-350

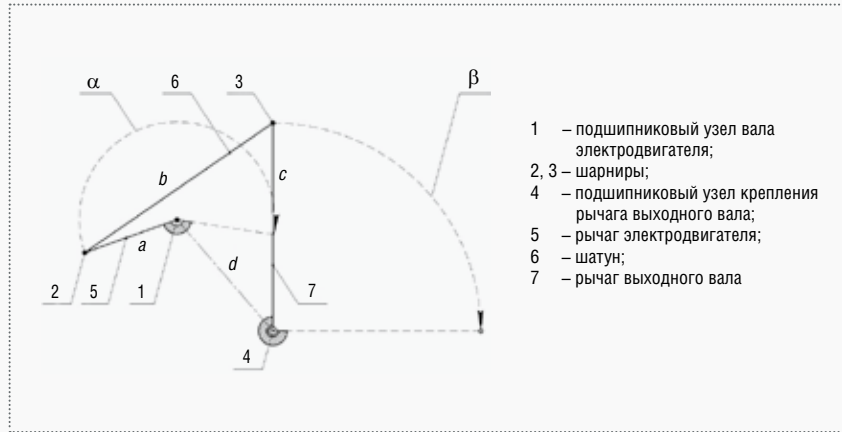


Рис. 3. Кинематическая схема передаточного механизма

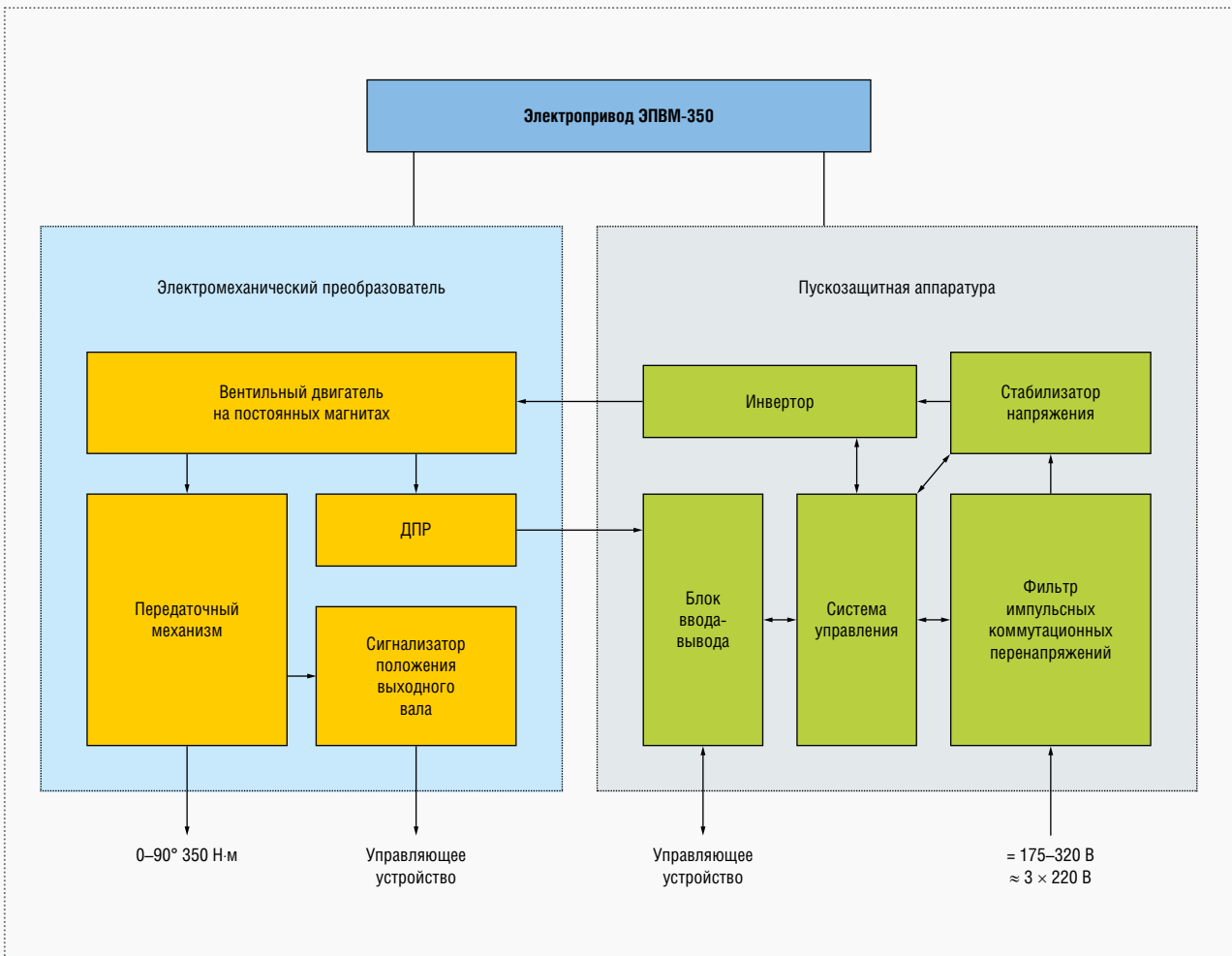


Рис. 2. Структура электропривода ЭПВМ-350

Для реализации требуемых силовых характеристик привода основные геометрические параметры механизма были выбраны следующими: длина плеча рычага $a - 48$ мм, длина плеча рычага $c - 102$ мм, расстояние между осями рычагов $d - 72$ мм, длина шатуна $b - 112$ мм. Работа четырехзвенного механизма в разных фазах показана на **рис. 4**.

При повороте рычага c на 90° рычаг a поворачивается на угол 210° . Расчетный график передаточной функции механизма показан на **рис. 5**.

Минимальное значение передаточной функции при такой конфигурации механизма – $1,75$. Максимальное значение передаточной функции достигается в положении «закрыто» (0°) и равно 6 . В положении «открыто» (90°) значение передаточной функции – $3,5$.

Особенностью четырехзвенного механизма такой геометрической конфигурации является более высокая нагруженность шарниров на участке рабочего диапазона, соответствующего положению «открыто». Данное обстоятельство требует особого внимания при расчете и проектировании механизма, а также обязательного ограничения момента на крайних участках рабочего диапазона со стороны системы управления привода.

Зависимость реакций в шарнирах четырехзвенного механизма от угла поворота представлена на **рис. 6**.

Как видно из графика, расчетное значение нагрузок в шарнирах механизма привода ЭПВМ-350 не превышает 9000 Н.

С учетом компоновки и обеспечения требуемых силовых характеристик, применение игольчатых и роликовых подшипников в данном механизме предпочтительнее применения других типов подшипников.

Общие технические характеристики электропривода ЭПВМ-350 предоставлены в **таблице**.



Рис. 4. Работа четырехзвенного механизма в нескольких фазах

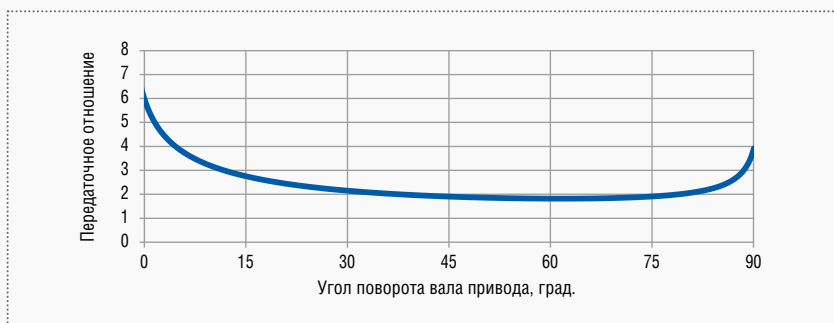


Рис. 5. Расчетный график передаточной функции механизма

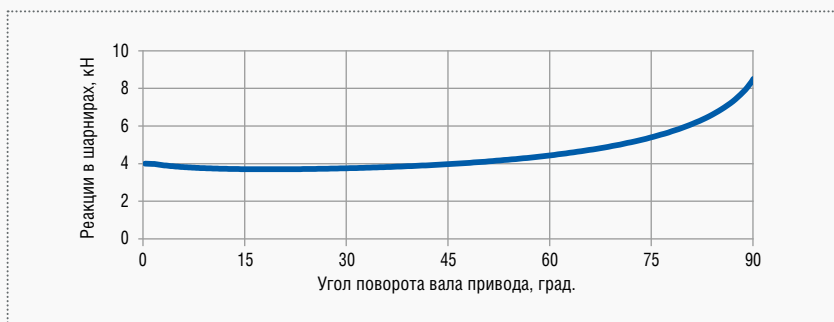


Рис. 6. Реакции в шарнирах механизма

Таблица

Параметр	Значение/размерность
Максимальный момент привода	350 Н·м
Время срабатывания	1...2 сек
Режим работы	Повторно-кратковременный
Номинальная скорость вращения электродвигателя	40 об/мин
Номинальный момент двигателя	120 Н·м
Тип электродвигателя	Синхронный
Потребляемая мощность в режиме ожидания	10 Вт
Габаритные размеры, мм	325×263×235
Тип сигнализаторов положения	Встроенные, сухой контакт
Масса, кг	37

Компоновка привода

Привод имеет оригинальную компоновочную схему, основанную на четырехзвенном передаточном механизме. На **рис. 7** показан разрез привода ЭПВМ-350.

Рычаг *a* конструктивно объединён с ротором двигателя, установленного в двух подшипниках, рычаг *c* по оси вращения также установлен в подшипниковый узел. Пальцы шатуна *b* установлены в рычагах на игольчатых подшипниках. Для исключения чрезмерных нагрузок в механизме, для рычага *a* введены механические упоры, которые не достигаются рычагом при номинальной работе привода. Внутри полости ротора расположен датчик углового положения ротора, который может быть реализован как на вращающемся трансформаторе (resolver), так и на датчиках Холла. Сверху привод герметично закрыт крышкой, снабженной шкалой, показывающей угловое положение выходного штока привода. В специальной выборке крышки размещается рычаг ручного дублера качающегося типа.

Электродвигатель

Для реализации всех преимуществ привода на основе четырехзвенного механизма был разработан высокомоментный электродвигатель на постоянных магнитах. Основными задачами, решаемыми при проектировании электродвигателя, были:

- Обеспечение высокого момента и низкой частоты вращения при заданном напряжении питания и ограничении потребляемой мощности.
- Обеспечение минимальной вибрации при работе электродвигателя.
- Минимальный габарит.

Как известно, момент в электродвигателе создается за счет взаимодействия магнитных полей статора и ротора, а их векторное произведение и определяет величину

развиваемого момента. Величина магнитного поля ротора определяется характеристиками магнитов, в то время как величина магнитного поля статора определяется конфигурацией магнитопровода, числом витков в пазу магнитопровода и протекающим через обмотку статора током. Число витков ограничено конфигурацией пазы, из чего следует, что, в условиях ограничения по габариту высокий момент можно получить, применяя более мощные магнитные материалы, а также за счет увеличения плотности тока в обмотках электродвигателя. Так как режим работы судовой арматуры – кратковременный, это снимает некоторые ограничения, связанные с перегревом обмоток, поэтому основным ограничением при решении данной задачи будет ограничение в потребляемой мощности электродвигателем. Несмотря на развитие магнитных материалов и возможность получения магнитов с достаточно высокими магнитными характеристиками, развитие магнитопроводящих материалов, таких как электротехнические стали, практически не происходит. Применение более мощных магнитов дает обратный эффект – магнитопровод электродвигателя насыщается и взаимодействие полей статора и ротора становится невозможным. Таким образом, для достижения высоких значений вращающего момента электродвигателя необходимо особое внимание уделять конфигурации магнитопровода статора и выбору магнитопроводящего материала.

Вибрации в электродвигателе имеют два основных источника. Во-первых, это вибрации в магнитопроводе статора. Вращающееся магнитное поле статора, за которым при вращении следует ротор, создается за счет переменного напряжения, созданного с помощью



Рис. 7. Привод ЭПВМ-350, местный разрез

ШИМ-модуляции. Взаимодействие проводников друг с другом и с зубцами статора обусловлено силой Лоренца, возникающей при прохождении через проводники тока, и, так как ток имеет периодический характер, будут возникать периодические колебания, приводящие к вибрациям проводников и зубцов статора. Эта проблема частично может быть решена путем заливки статора специальным компаундом, который фиксирует заложенные в пазах обмотки и снижает вибрации. Вторая причина вибраций в электродвигателе – вибрации ротора, вызванные тем, что угловой сдвиг между магнитными векторами статора и ротора непостоянен за один оборот ротора. Из-за непостоянства магнитной проницаемости статора, связанной с чередованием пазов, заполненных воздухом и медью, и зубцов из электротехнической стали, магнитные поля ротора и статора имеют несовпадающую форму, что существенно усложняет задачу поддержания постоянного электрического угла. Снижение вибраций, в том числе, может быть достигнуто путем применения сдвоенной магнитной системы с радиально намагниченными магнитами специальной формы, обеспечивающей форму магнитного поля ротора максимально приближенной к форме магнитного поля статора, причем эти две магнитные группы имеют определенное угловое смещение.

Таким образом, задача создания электродвигателя для четвертьоборотного привода арматуры на осно-

ве четырехзвенного механизма – это многоитерационная задача, зависящая от большой совокупности влияющих друг на друга факторов и требующая точного учета особенностей работы.

На рис. 8 представлена осциллограмма формы ЭДС, наводимой в фазах электродвигателя для четвертьоборотного привода ЭПВМ-350, изготовленного с контролем индуктивности катушек. Разброс значений индуктивности составил не более 0,02%. Форма ЭДС полученного электродвигателя близка к синусоиде, что снижает вибрации при работе электродвигателя.

На рис. 9 представлен график зависимости момента на валу двигателя от тока. В идеальном вентильном электродвигателе этот график представляет собой прямую, так как значение момента прямо пропорционально току. Из-за специфики заложенных решений и работы практически в крайних для свойств материала областях реальный график отличается от прямой, однако, как видно, до номинального значения он практически линеен и имеет запас по моменту для экстремальных режимов. Необходимый момент на валу электродвигателя, равный 120 Н·м, развивается при токе 9 А.

Ручной дублёр

В силу того, что для привода на основе четырехзвенного механизма необходимо применять высокомомент-

ный электродвигатель, возникают определённые сложности с реализацией ручного дублера. Применение подключаемого к электродвигателю понижающего редуктора для уменьшения момента на маховике ручного дублера усложняет конструкцию привода и увеличивает его габарит, что противоречит целям, преследуемым при создании электропривода. Для преодоления этого противоречия был применён качающийся ручной дублер с управляемым двунаправленным храповым механизмом. Данное решение позволило существенно снизить габаритный размер как ручного дублера, так и самого привода. Для исключения вращения электродвигателя при подключенном ручном дублере конструкция привода содержит ряд защит и блокировок. При отказе какой-либо из защит, учитывая достаточно низкую скорость вращения моментного двигателя (40 оборотов в минуту), а также механическое ограничение хода корпуса дублера, ручной дублер остается травмобезопасным для персонала.

Выводы

Проведенные испытания макетного образца привода ЭПВМ-350 подтвердили низкую виброактивность четвертьоборотного привода на базе четырехзвенного механизма.

В процессе проектирования, изготовления и испытаний электропривода были выявлены следующие преимущества и недостатки:

- + Малошумность.
- + Высокое быстродействие.
- + Простота и надежность механизма.
- Необходимость ограничения момента двигателя с учетом передаточной функции механизма.
- Несимметричность конструкции.

Высокое быстродействие электропривода достигается за счет низкого среднего передаточного отношения механизма, при обеспечении высокого передаточного отношения в краях рабочего диапазона привода, при этом время смены состояния шарового крана может составлять не более 1 сек.

Данные характеристики получены за счет применения специального четырехзвенного механизма, позволяющего отказаться от редуктора с зубчатым зацеплением и имеющего переменную передаточную функцию, по характеру изменения повторяющую моментную характеристику шарового крана, и применения высокомоментного синхронного электродвигателя на постоянных магнитах. Четырехзвенный механизм имеет параллельное расположение осей быстроходного и тихоходного вала, при этом моментный электродвигатель имеет малую осевую длину, что в совокупности позволяет получать относительно компактные в осевом направлении электроприводы.

На основе четырехзвенного механизма возможно создание быстродействующих малошумных приводов для специальной судовой арматуры.

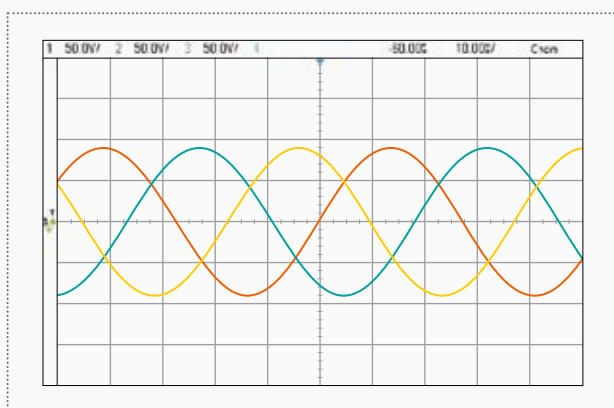


Рис. 8. Форма ЭДС в фазах электродвигателя

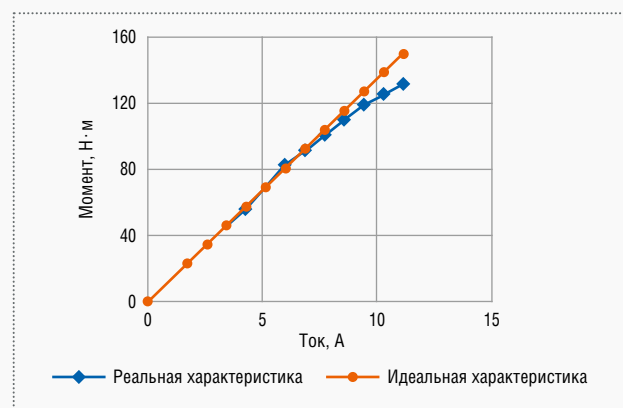


Рис. 9. Зависимость момента на валу двигателя от тока