

УДК 621.313

В.В. Аржанов, Ю.А. Шурыгин, В.А. Бейнарович, Ю.А. Шиняков, А.Е. Лапа, К.В. Аржанов

Микропроцессорное управление электроприводами с вентильными двигателями для движителей необитаемых подводных аппаратов

Приведены результаты разработки системы микропроцессорного управления электроприводами с вентильными двигателями для движителей необитаемых подводных аппаратов.

Ключевые слова: вентильный двигатель, транзисторный преобразователь, датчик положения ротора, микропроцессорное управление, контроллеры управления, передаточная функция, самонастраивающаяся система с эталонной моделью, необитаемый подводный аппарат, движитель.

В современных необитаемых подводных аппаратах (НПА) может устанавливаться до двенадцати движителей (винтомоторных систем), обеспечивающих перемещение НПА во всех плоскостях движения [1]. Перспективные электроприводы движителей должны иметь минимальные массогабаритные показатели, повышенную надежность системы, минимальное потребление электрической энергии, плавное регулирование частоты вращения, возможность быстрого реверса. Специальным требованием, предъявляемым к электроприводам движителей НПА, является требование их конструирования и размещения в цилиндре с ограниченным диаметром, что позволяет проще проектировать движительно-рулевой комплекс. Кроме того, это требование вытекает и из конструктивных особенностей НПА, так как некоторые из них, например самоходные НПА, предназначенные для океанологических исследований и специальных работ на больших глубинах, проектируются на основе модульных принципов конструирования и имеют торпедообразную конструкцию [2]. Основное требование к перспективным электроприводам движителей – это высокая надежность, которую может обеспечить только горячее резервирование, т.е. установка на основном валу двух и более двигателей. Из этого требования вытекает необходимость проектирования нового электропривода для движителей НПА.

Технические требования, предъявляемые к электроприводам движителей НПА, заключаются в следующем:

- микропроцессорный блок управления электропривода должен обеспечивать реверсивный режим работы электродвигателей с регулированием частоты вращения от 10 до 400 об/мин;
- должна обеспечиваться установка двух и более двигателей на одном валу винтомоторного механизма;
- питание блока регулирования электропривода должно осуществляться от аккумуляторной батареи напряжением 55 В или другого аналогичного источника;
- время непрерывной работы электропривода движителей НПА должно быть не менее 20 ч;
- блок управления электропривода движителей НПА должен обеспечивать безотказную непрерывную работу в течение 20 ч с вероятностью не менее 0,99;
- ресурс работы системы управления электропривода должен быть не менее 20000 ч.

Выполнение названных выше требований возможно путем проектирования микропроцессорного электропривода движителей на основе вентильных двигателей серии ДБМ [3]. Электродвигатели серии ДБМ соответствуют ГОСТ В 50726.0–92. Двигатели могут эксплуатироваться по группе 3У ГОСТ РВ 20.39.414.1–97 в температурном диапазоне от –60 до +85°, при повышенном уровне влажности, вибраций и ударов, в условиях пониженного и повышенного давления, воздействия соляного тумана, плесневых грибов, дождя и имеют срок службы 50 тыс. ч в течение 20 лет. Однако для этого необходимо решить ряд научно-технических задач, обеспечивающих надежную, синхронную работу на общий вал нескольких двигателей серии ДБМ и соответственно возможность наращивания мощности и момента без увеличения внешнего диаметра движителя. Необходимы разработка универсальной микропроцессорной системы управления N -количеством транзисторных преобразователей, а также разработка общей микропроцессорной системы управления всеми электроприводами движителей НПА.

На рис. 1 показана структурная схема микропроцессорного электропривода для движителя НПА с двумя установленными на одном валу вентильными двигателями ДБМ и одним датчиком положения ротора ВТ60.

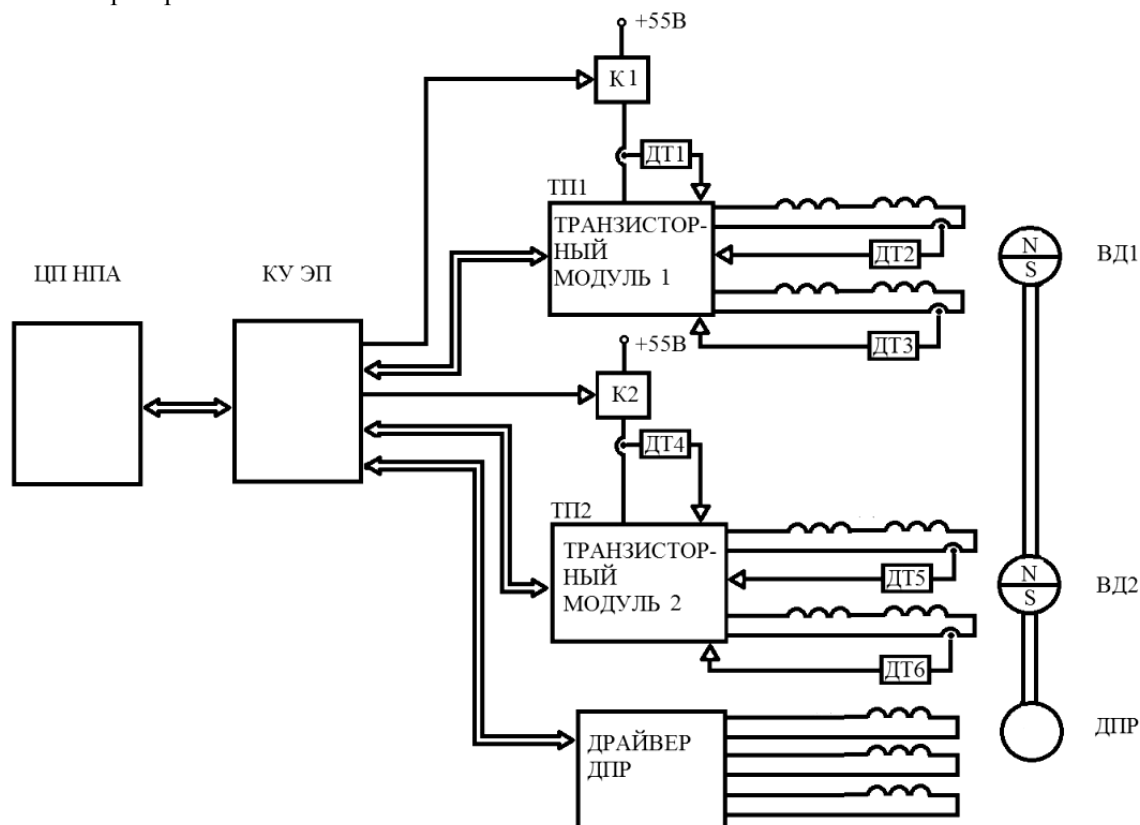


Рис. 1. Структурная схема микропроцессорного электропривода движителя НПА

На рис. 1 приняты следующие обозначения: ТП1, ТП2 – транзисторные преобразователи; ВД1, ВД2 – вентильные двигатели; ДПР – датчик положения ротора; К1, К2 – транзисторные ключи; ЦП НПА – центральный микропроцессор НПА; КУ ЭП – контроллер управления электроприводами; ДТ1 – ДТ6 – датчики тока.

Контроллер управления электроприводами (КУ ЭП) выполнен на микроконтроллере STM32F103 и обеспечивает следующие режимы:

- прием и передачу команд с центрального микропроцессора НПА;
- обработку сигнала с драйвера ДПР и формирование сигналов синуса и косинуса угла поворота вала двигателя и сигнала по скорости вращения двигателя;
- передачу сигналов управления на каждый транзисторный преобразователь для управления двухфазным вентильным двигателем;
- отключение любого транзисторного преобразователя при его выходе из строя, перегреве или по внешнему сигналу управления НПА;
- измерение температуры корпуса двигателя и транзисторных преобразователей;
- регулирование скорости вращения двигателя и адаптивное управление в контуре управления скорости вращения двигателя.

Связь между контроллерами в системе управления электроприводом осуществляется по протоколу RS485.

На рис. 2 показана функциональная схема управления электроприводом с двумя вентильными двигателями серии ДБМ 150.

На рис. 2 приняты следующие обозначения: РС – регулятор скорости; ЭМ – эталонная модель; ДЗ1, ДЗ2 – дифференцирующие звенья; НЗ 1, НЗ 2, НЗ 3 – нелинейные звенья; МЗ1, МЗ2 – множительные звенья; ТП1.1, ТП1.2, ТП2.1, ТП2.2 – транзисторные преобразователи; ВС – вычислитель синуса угла поворота; ВК – вычислитель косинуса угла поворота; ВОС – вычислитель обратной связи по скорости; ДТ2 – ДТ5 – датчики тока.

измерение температуры корпуса двигателя с помощью микросхемы DS1821. При превышении температуры 85 градусов контролер выдает сообщение на центральный процессор НПА. При этом также возможно отключение транзисторного преобразователя и соответственно двигателя. В этом случае оставшийся в работе второй вентильный двигатель возьмет на себя всю нагрузку. При этом движитель НПА сохраняет свою работоспособность.

Система электропривода с вентильным двигателем типа ДБМ 150, с силовым транзисторным преобразователем и контроллером управления замкнута через датчик положения ротора двигателя (типа ВТ 60) и образует систему бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ).

Передаточную функцию БДПТ при определенном допущении можно представить как звено второго порядка с переменными постоянными времени двигателя. Электромагнитная постоянная времени обмотки фазы для двигателей серии ДБМ составляет 0,1–1 мс, а электромеханическая постоянная времени составляет 6–16 мс. Электромеханическая постоянная времени в электроприводе движителя будет определяться двойным моментом инерции двигателя (так как два двигателя находятся на одном валу) и моментом инерции самой механической части движителя.

Определение электромеханической постоянной времени целесообразно проводить на экспериментальной установке путем исследования переходного процесса при пуске двигателя без регулятора скорости. При снятии динамической характеристики при пуске двигателя в транзисторном преобразователе не должно действовать токоограничение. Это необходимо для того, чтобы исключить влияние на переходную характеристику режима насыщения в транзисторном преобразователе.

Для оптимизации динамических характеристик электропривода целесообразно использовать ПИД-регулятор скорости. Передаточная функция регулятора скорости в этом случае имеет следующий вид:

$$w_{pc}(p) = \frac{(T_M \cdot T_H \cdot p^2 + T_H \cdot p + 1)}{T_M \cdot T_H \cdot p^2} \cdot K_k, \quad (3)$$

где K_k – коэффициент передачи регулятора; T_M – электромеханическая постоянная времени; T_H – некомпенсированная постоянная времени; p – оператор Лапласа.

Коэффициент передачи K_k в регуляторе скорости определяется по выражению

$$K_k = \frac{T_M}{K_{ДС} \cdot T_H \cdot K_{ДВ}}, \quad (4)$$

где $K_{ДВ}$ – коэффициент передачи двигателя; $K_{ДС}$ – коэффициент передачи датчика скорости.

Некомпенсированная постоянная времени в электроприводе определяется по выражению

$$T_H = T_\Sigma + T_\Phi + T_{ш}, \quad (5)$$

где T_Φ – постоянная времени фильтров в прямом канале; $T_{ш}$ – постоянная времени, равная половине периода ШИМ; T_Σ – электромагнитная постоянная времени фазы вентильного двигателя.

В данной системе электропривода точной компенсации постоянных времени двигателя нет и система электропривода с вентильным двигателем к тому же нелинейная. Поэтому для стабилизации динамических характеристик системы электропривода вводится адаптивное управление в контур регулирования скорости вращения, а именно, вводится контур адаптивного управления с эталонной моделью и сигнальной самонастройкой [5].

В системе электропривода эталонная модель представлена как звено второго порядка. Постоянные времени эталонной модели определяют заданную полосу частот в контуре регулирования скорости вращения. Самонастройка осуществляется путем введения сигнала ошибки (ошибка между выходным сигналом эталонной модели и сигналом датчика скорости), её первой и второй производной на вход регулятора скорости электропривода.

Компенсирующий сигнал определяется по выражению

$$\sum \Delta \omega = \Delta \omega \cdot K_1 + T_M \cdot \frac{d(\Delta \omega)}{dt} \cdot K_2 + T_M \cdot T_H \cdot \frac{d^2(\Delta \omega)}{dt^2} \cdot K_3, \quad (6)$$

где $\sum \Delta \omega$ – компенсирующий сигнал; $\Delta \omega$ – сигнал ошибки по модели; K_1 , K_2 , K_3 – коэффициенты передачи линейной части звеньев НЗ 1, НЗ 2, НЗ 3.

Коэффициенты передачи по сигналу ошибки и по её производным оптимизируются исходя из устойчивости системы в большом, а также по качеству переходных процессов в электроприводе. Далее коэффициенты уточняются при экспериментальных исследованиях на макетном образце электромеханического блока.

На рис. 3 показана фотография макетного образца электромеханического блока, содержащего два спаренных (установленных на одном валу) вентильных двигателя ДБМ 150, датчика положения ротора ВТ 60, нагрузочного двигателя постоянного тока ПБВ 112М. Для обеспечения симметрии развиваемых моментов двигателями производится настройка положения статора двигателей ДБМ. Сначала настраивается первый вентильный двигатель (или датчик положения ротора) путем их перемещения по кругу до момента одинаковых скоростей вращения в разные стороны (при реверсе). Далее настраивается положение второго вентильного двигателя точно так же. Статоры двигателей крепко закрепляются винтами. Настройку положения статоров двигателей можно производить и по потребляемому току.

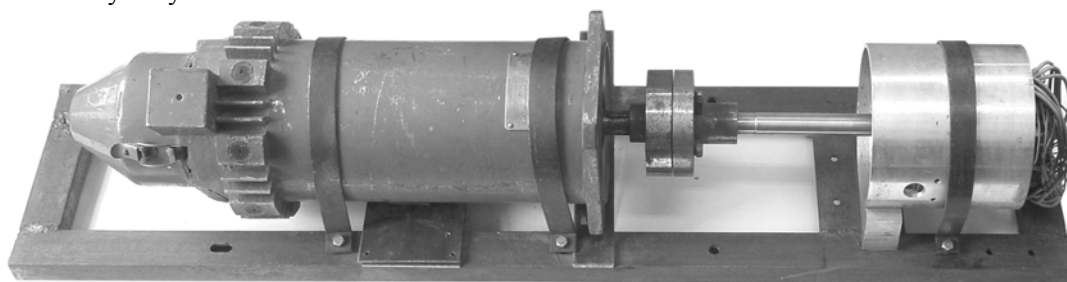


Рис. 3. Фотография электромеханического блока

Экспериментальные исследования макетного образца электропривода движителя показали следующее: диапазон регулирования скорости вращения составил 1:100, система электропривода обеспечивает длительную работу с тройным номинальным моментом по сравнению с одиночным двигателем ДБМ 150. Микропроцессорная система управления позволяет повысить надежность работы НПА путем отключения одного из транзисторных преобразователей (при выходе из строя двигателя или преобразователя) и увеличивать нагрузку на оставшийся двигатель. Тем самым сохраняется работоспособность НПА. Система управления также позволяет наращивать мощность движительной установки путем установки на общий вал дополнительных двигателей ДБМ и дополнительных транзисторных модулей.

Выводы

1. Для повышения надежности работы и увеличения момента электропривода движителя НПА предложена новая микропроцессорная схема электропривода, содержащая два и более установленных на одном валу вентильных двигателей серии ДБМ.
2. Разработана микропроцессорная система управления транзисторными преобразователями для двух вентильных двигателей ДБМ-150 и одним датчиком положения ВТ-60, обеспечивающая возможность работы одного или двух двигателей одновременно.
3. Для системы электропривода рассчитан ПИД-регулятор скорости и включен дополнительно адаптивный контур управления с эталонной моделью и сигнальной самонастройкой.
4. Изготовлен и испытан экспериментальный образец электропривода движителя НПА, подтвердивший теоретические расчеты.

Работа выполняется в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (мероприятие 1.2.1).

Литература

1. Движительно-рулевой комплекс подводного аппарата [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.korabel.ru/dictionary/detail/409.html>, свободный (дата посещения: 16.08.2012).
2. Баженов Ю.А. Самоходные необитаемые подводные аппараты / Ю.А. Баженов, А.П. Бортков, В.М. Гаврилов и др.; под общ. ред. И.Б. Иконникова. – Л.: Судостроение, 1986. – 264 с.
3. ОАО Машиноаппарат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mashap.maverick.ru>, свободный (дата посещения: 16.08.2012).

4. ОАО ВНИТИ МЭ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vniimem.com>, свободный (дата посещения: 16.08.2012).

5. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.

Аржанов Владимир Викторович

Канд. техн. наук, зав. отделом № 11 НИИ АЭМ ТУСУРа

Тел.: +7(382-2) 55-78-43

Эл. почта: otdel11tomsk@yandex.ru

Шурыгин Юрий Алексеевич

Д-р техн. наук, профессор, ректор ТУСУРа

Тел.: +7(382-2) 510-530

Эл. почта: office@tusur.ru

Бейнарович Владислав Александрович

Д-р техн. наук, профессор каф. комплексной информационной безопасности ТУСУРа

Тел.: +7(382-2) 41-34-26

Эл. почта: bva@keva.tusur.ru

Шиняков Юрий Александрович

Д-р техн. наук, директор НИИ космических технологий ТУСУРа

Тел.: + 7(382-2) 90-01-62

Эл. почта: shua@main.tusur.ru

Лапа Анатолий Егорович

Ведущий инженер отдела 11 НИИ АЭМ ТУСУРа

Тел.: +7(382-2) 55-78-43

Эл. почта: lab111tomsk@yandex.ru

Аржанов Кирилл Владимирович

Техник НИИ космических технологий ТУСУРа

Тел.: +7(382-2) 55-78-43

Эл. почта: rbhx@yandex.ru

Arzhanov V.V., Shurygin Yu.A., Beynarovich V. A., Shinyakov Yu.A., Lapa A.E., Arzhanov K.V.

Microprocessor management of electric drive with valve engines for propulsion unmanned submarine vehicles

The results of the design of microprocessor system with valve control of electric motors for propulsion unmanned submersibles.

Keywords: valve engine, transistor inverter, rotor position sensor, microprocessor control, controller, transfer function, adaptive system with a reference model, uninhabited submarine vehicle, engine.