

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА МНОГООБОРОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Распов В.Я., Алалуев Р.В., Иванов Ю.В., Малютин Д.М.

Тульский государственный университет, г. Тула, Российская Федерация

Рассмотрена информационно-измерительная и управляющая система нового поколения многооборотного электропривода трубопроводной арматуры высокого уровня интеллектуализации. (E-mail: tgupu@yandex.ru)

Ключевые слова: многооборотный электрод, трубопроводная арматура.

Введение

В настоящее время актуальной является задача создания нового поколения многооборотных интеллектуальных электроприводов (ЭП) запорной арматуры высокопроизводительных транспортных магистралей. Такие магистрали уже широко применяются в мировой экономике и имеют реальную перспективу на применение в будущем. Принадлежность к новому поколению ЭП трубопроводной арматуры, эффективность его функционирования во многом определяются структурой построения информационно-измерительной и управляющей системы (ИИиУС) ЭП и уровнем ее интеллектуализации. Практически все производители проводят работы по повышению уровня интеллектуализации ИИиУС ЭП. Высокий уровень интеллектуализации ЭП достигнут фирмой *AUMA* (Германия), ЗАО «Тулаэлектропривод» (Российская Федерация) и другими производителями [1, 2]. В работе рассмотрена ИИиУС многооборотного ЭП трубопроводной арматуры нового поколения разработки Тульского государственного университета и ОАО «Мичуринский завод «Прогресс» [3,4].

Информационно-измерительная и управляющая система многооборотного электропривода трубопроводной арматуры нового поколения

Структурная схема ИИиУС многооборотного ЭП трубопроводной арматуры нового поколения представлена на рисунке.

Блок питания и коммутации предназначен для обеспечения коммутации цепей ЭП и

промышленных сетей с помощью клеммной колодки и разъема промышленного интерфейса *CAN*, а также выработки низковольтного напряжения питания +5 В, +24 В для работы блока местного управления.

Блок измерения параметров электропитания располагается в блоке питания и коммутации. Блок конструктивно состоит из двух подблоков: питания измерителя параметров питания и собственно измерителя параметров питания. Блок измерения параметров электропитания предназначен для контроля параметров входного напряжения питания (380 В, 3 Ф, 50 Гц). Блок позволяет измерять действующее значение напряжения питания, частоту и период питающей сети, потребляемый ток, значения активной, реактивной и полной мощности, значение коэффициента мощности, величину потребленной электроэнергии, а также определять аварийные режимы работы ЭП: обрыв фаз, скачок напряжения питающей сети, просадку напряжения питающей сети; по сигналам датчиков блока измерения параметров питания можно судить о текущем моменте на валу двигателя. Технические характеристики блока измерения параметров электропитания приведены в таблице 1, состав – в таблице 2.

Схема измерения параметров питания имеет собственный параметрический источник питания, гальванически связанный с сетевым напряжением. Источник питания выполнен в виде отдельной платы. Напряжения питания +15 В и –15 В используются для питания усилителей сигнала токовых трансформаторов Т1, ТТ2, ТТ3, а напряжение питания +5 В – для питания измерителя *ADE7758* и микроконтроллера *Atmega32*. Они конструктивно располага-

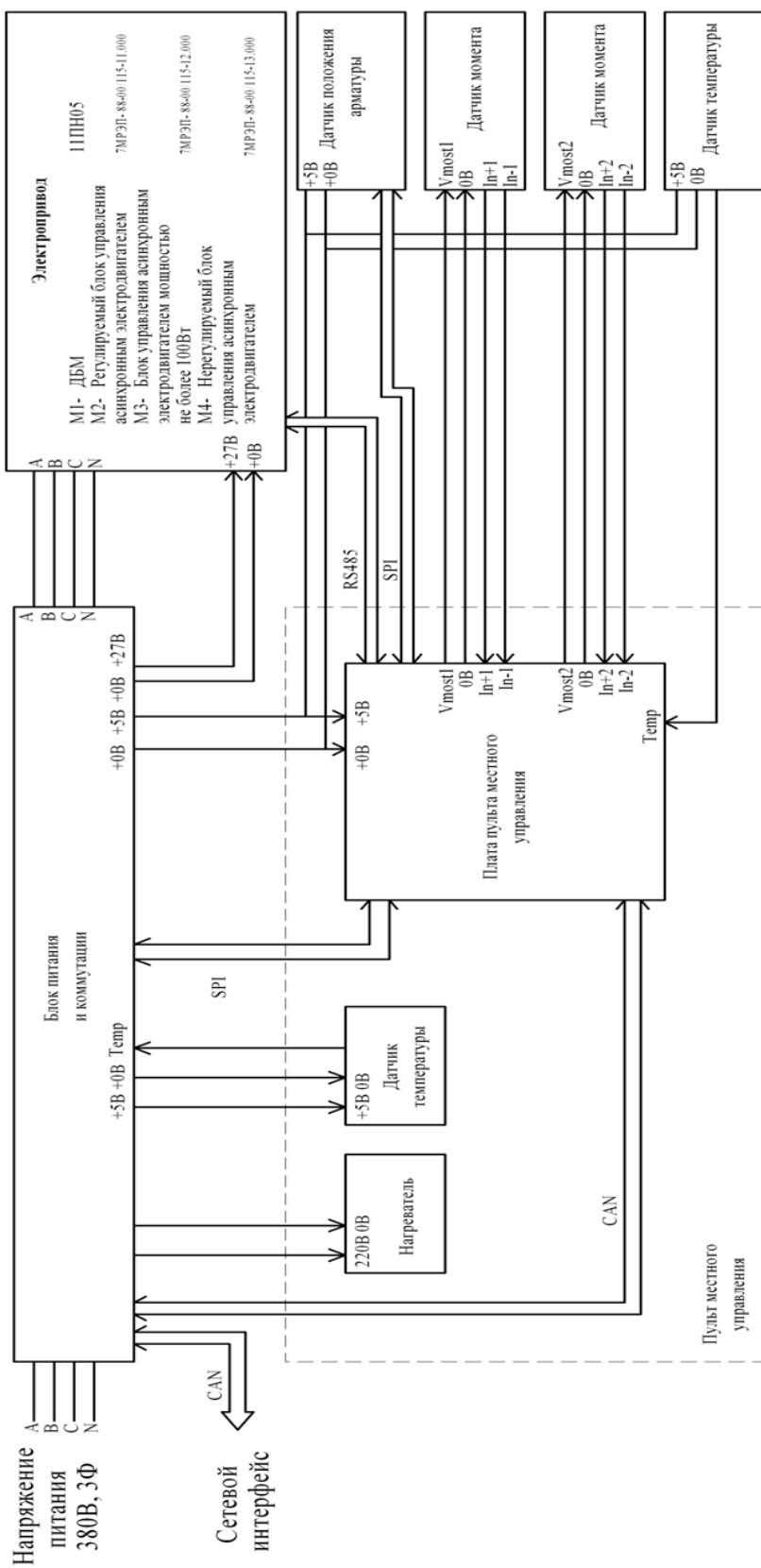


Рисунок 1 – Структурная схема информационно – измерительной и управляющей системы многооборотного электропривода трубопроводной арматуры нового поколения

ются на плате измерителя. Микросхема *ADE7758* представляет собой интегральный счетчик электроэнергии. В ней реализован прием сигнал с датчиков тока и напряжения. В качестве датчиков тока используются трансформаторы тока *CSNT651-001* со схемой согласования. Ее основным элементом является балластный резистор, преобразующий токовый

сигнал с выхода трансформатора тока в напряжение. Напряжение, снимаемое с балластного резистора схемы согласования, подается на встроенный АЦП измерителя параметров питания *ADE7758*. Измеренные значения тока и напряжения позволяют автоматически рассчитать все основные характеристики питания внутри *ADE7758*.

Таблица 1 – Характеристики подблока измерения параметров электропитания

№ п/п	Технические характеристики	Значение
1	Частота питающей сети	50 Гц
2	Количество фаз питающего напряжения	3
3	Действующее напряжение питающей сети	380 В
4	Интерфейс передачи данных	<i>SPI</i>
5	Максимальная длина кабеля передачи данных	0,5 м
6	Максимальная скорость передачи	50 кБит/с
7	Погрешности измерений	не более 2 %
8	Максимальный измеряемый ток	50 А

Таблица 2 – Состав подблока измерения параметров электропитания

№ п/п	Наименование (тип)	Обозначение, тип
1	Микроконтроллер	<i>Atmega32</i>
2	Интегральный измеритель параметров питания	<i>ADE7758</i>
3	Трансформатор тока	<i>CSNT651-001</i>
4	Схема согласования	–
5	Делитель напряжения	–
6	Источник питания	7МРЭП-88-00/115-10.001.

Связь измерителя параметров питания с микроконтроллером осуществляется посредством последовательного интерфейса *SPI*, с помощью которого возможно чтение и запись всех внутренних регистров *ADE7758*. Помимо этого, для подсчета количества потребленной электроэнергии и калибровки *ADE7758* в микроконтроллер вводятся сигналы *AFCP*, *VARCP*, представляющие собой частотно-модулированные сигналы с частотой выдачи импульсов, пропорциональной активной и реактивной мощности соответственно. На микроконтроллер также выведен сигнал запроса прерывания *IRQ*. Микросхема поддерживает 19 различных нештатных ситуаций, в том числе просадки и пики напряжений по всем трем фазам, переход фазы через нуль, ошибки чередования фаз, ошибки питающего напряжения 5 В. Эти прерывания обрабатываются встроенным

микропроцессором и по интерфейсу *SPI* передается на пульт местного управления электроприводом.

Устройство местного подогрева предназначено для работы при температурах ниже –45 °С. Устройство предотвращает подачу питающего напряжения на схемы до тех пор, пока температура не достигнет –40°С. Для того, чтобы достичь температуры –40°С, применяется нагревательный элемент. Технические характеристики устройства местного подогрева приведены в таблице 3, состав – в таблице 4. Устройство работает в температурном диапазоне от –55 до +60 °С и предназначено для предварительного прогрева электронного блока. Включение питания всего блока возможно только после предварительного прогрева. Для включения питания применяются трехфазные контакторы. Датчик температуры *AD22100*

вырабатывает аналоговый сигнал, пропорциональный температуре окружающей среды. Датчик температуры конструктивно располагается в пульте местного управления. Этот сигнал подается на два триггера Шмидта. Триггер Шмидта 1 настроен на пороги срабатывания – 35 и – 30 °С и предназначен для управления через контактор нагревательным

элементом. Триггер Шмидта 2 настроен на пороги –40 °С, –38 °С и предназначен для управления подачей питания на блок управления приводом. Устройство местного подогрева включает в себя 2 нагревательных элемента: один располагается в пульте местного управления, а другой – в блоке питания и коммутации.

Таблица 3 – Технические характеристики устройства местного подогрева

№	Технические характеристики	Значение
1	Температура выключения подогрева	-35°С
2	Температура включения подогрева	-30°С
3	Минимальная температура включения блока управления	-40°С
4	Температура включения подогрева	-30°С

Таблица 4 – Состав устройства местного подогрева

№	Наименование (тип)	Обозначение, тип
1	Контактор	-
2	Нагревательный элемент	-
3	Источник питания	+5,+15,-15В
4	Триггер Шмидта 1	-
5	Триггер Шмидта 2	-
6	Датчик температуры	AD22100
7	Мощность нагревательного элемента	1кВт

Пульт местного управления предназначен для управления работой ЭП запорной арматуры. Он обеспечивает прием команд и выдачу служебной информации по промышленной сети CAN. В него встроены кнопки управления, светодиодные и сегментные индикаторы, обеспечивающие формирование команд управления ЭП запорной арматуры, сигнализацию состояния ЭП, сигнализацию кода ошибок, дистанционное управление ЭП промышленной сети. Пульт местного управления обеспечивает связь между всеми элементами блока управления ЭП. Для этого в состав пульта местного управления введены 6 интерфейсов. Интерфейс CAN предназначен для связи с промышленной сетью (для физической организации связи применяется микросхема MAX3053ESA). Интерфейс RS-485 используется для обеспечения связи с блоком управления электродвигателем (для физической организации связи применяется микросхема интерфейса RS485-ADM-485).

Интерфейс UART0 представляет собой оптически развязанный интерфейс типа UART (оптическая развязка осуществляется с помощью оптопар 4N35 или аналогов). Интерфейс SPI0 представляет собой оптически развязанный интерфейс типа SPI. Оптическая развязка осуществляется с помощью оптопар 4N35 или аналогов. Интерфейс предназначен для связи с блоком измерения параметров питания. Интерфейс SPI1 служит для связи с блоком измерения положения арматуры или с датчиком положения арматуры. Интерфейс SPI2 используется для подключения к нему блоков, входящих в состав пульта местного управления. Через этот интерфейс подключены АЦП типа AD7730, обеспечивающие оцифровку сигналов тензорезистивных датчиков момента, а также внутренние часы, выполненные на базе DS3234SN. Они обеспечивают возможность работы таймера, а также ведение журнала работы. Часы имеют собственный незави-

симый источник питания типа CR2032 для обеспечения их функционирования при отсутствии питания.

Пульт местного управления может получать команды непосредственно из промышленной сети или при помощи 4 кнопок управления: «Открыть», «Закрыть», «Стоп», «Дисплей». Кнопка «Дисплей» позволяет выбрать режим индикации различных параметров ЭП при коротком нажатии и перейти в раздел настроек или сервисных данных при длинном нажатии. Кнопка «Закрыть» служит для закрывания арматуры в соответствии с текущими настройками ЭП, а в режимах настройки параметров и индикации сервисных данных – для изменения настройки или выключения функции. Кнопка «Открыть» используется для открытия арматуры в соответствии с текущими настройками ЭП, а в режимах настройки параметров и индикации сервисных данных – для изменения настройки или включения функций. Кнопка «Стоп» позволяет произвести остановку движения арматуры, а в режимах настройки параметров и индикации сервисных данных изменить настройку или включить/выключить функцию. Светодиодные индикаторы «Открыто», «Закрыто», «Промежуточное положение» отображают текущее состояние привода.

После включения питания ЭП инициализируется и переходит в режим индикации ос-

новных параметров. Переключение между индицируемыми параметрами осуществляется с помощью кнопки «Дисплей». Индицируются следующие параметры: текущий механический момент, открытие в %, текущее время, текущая дата, индикационный код V/N привода, максимальный момент на открытие, максимальный момент на закрытие, текущий код датчика положения арматуры, цифровой код, соответствующий положению «открыто» арматуры; цифровой код, соответствующий положению «закрыто» арматуры, время до закрытия арматуры, время до открытия арматуры, код ошибки, режим выключения по моменту и по положению, наличие ошибок в канале передачи данных по промышленной сети. Меню параметров сервиса также включает индикацию потребленной энергии, напряжения питания, потребляемого тока, числа циклов открытия-закрытия, числа доступных приводов в промышленной сети, числа циклов до технического обслуживания; ввод специального кода для технического обслуживания.

Датчик положения арматуры предназначен для определения текущего положения и скорости движения запорного органа. Технические характеристики датчика положения арматуры приведены в таблице 5, состав – в таблице 6.

Таблица 5 – Технические характеристики датчика положения арматуры

№ п/п	Технические характеристики	Значение
1	Напряжение питания	5 В
2	Интерфейс передачи данных	SPI
3	Максимальная длина кабеля передачи данных	0,5 м
4	Максимальная скорость передачи данных	50 кБит/с
5	Число дисков	5
6	Разрядность каждого диска	5
7	Тип кодирования	Код Грея
8	Максимальное число измеряемых оборотов	1300
9	Частота ПЛИС	400 МГц
10	Тип датчиков положения	Оптический ИК датчик
11	Диапазон измеряемой скорости вращения	До 6000 об/мин
12	Тип датчика скорости	Оптический ИК датчик
13	Тип кодирования	Квадратурный сигнал со сдвигом фаз 90°

Таблица 6 – Состав датчика положения арматуры

№ п/п	Наименование (тип)	Обозначение, тип
1	Программируемая логическая интегральная схема	EPM240T100I
2	Генератор 12.888 МГц	–
3	Источник питания для оптических прерывателей	ADP3335AR-3
4	5 разрядные датчики положения дисков	KTIR0A11S

Датчик положения арматуры подключается к пульту местного управления ЭП с помощью интерфейса *SPI*. Генератор вырабатывает прецизионный уровень частоты для обеспечения работы счетчиков ПЛИС. ПЛИС обеспечивает прием и обработку 4 разрядного квадратурного сигнала от блока измерения скорости вращения электродвигателя, а также 25-разрядного кода Грея, получаемого от датчиков положения дисков. Блок измерения скорости вращения электродвигателя состоит из 4 оптических прерывателей, располагаемых на оси вала двигателя под углом 90° в соответствии. На валу двигателя находится полудисковый модулятор, который при вращении пересекает все прерыватели. Каждый из прерывателей генерирует прямоугольные импульсы. В результате на выходе схемы получается 4-х разрядный квадратурно-модулированный сигнал. В ПЛИС измеряется период сигнала и направление вращения. Для измерения положения арматуры применяется редуктор, состоящий из 4 цилиндрических зубчатых передач. Общее передаточное число редуктора 4096. С учетом того, что на выходном валу ЭП применена ускоряющая передача 1:3, общее число оборотов выходного вала, которое может подсчитать датчик, – 1365. На каждой из пяти осей редуктора располагается дисковый модулятор с нанесенным на него 5 разрядным кодом Грея. Считывание значений кода Грея осуществляется оптическими прерывателями *KTIR0A11S*, работающими на отражение. Учитывая, поскольку первый диск вращается с утроенной скоростью точность определения положения выходного вала ЭП составит 3,75°. Считанные со всех пяти дисков значения положения диска передаются в ПЛИС, где происходит их предварительная обработка, заключающаяся в пересчете показаний всех датчиков из кода Грея в двоичный код.

Датчик момента предназначен для выработки сигнала, пропорционального текущему моменту на выходном валу ЭП. ЭП запорной арматуры снабжен двумя тензорезистивными датчиками силы типа С9В: один измеряет механический момент при открывании арматуры, второй – механический момент при закрывании арматуры. Технические характеристики датчика момента приведены в таблице 7. Датчик момента представляет собой металлическую пластину, деформация которой осуществляется при помощи толкателя. Измерение деформации осуществляется тензометрическим полным мостом. Датчик питается прецизионным уровнем напряжения 5 В, вырабатываемым в пульте местного управления. Выходной сигнал датчика момента поступает на пульт местного управления.

Таблица 7 – Технические характеристики датчика момента

№ п/п	Технические характеристики	Значение
1	Схема подключения	4-проводная
2	Тип схемы	Полный мост
3	Класс точности	0,5
4	Температурный диапазон	уточняется
5	Сопротивление моста	300–400 Ом
6	Диапазон измерения	0,5–20 кН
7	Размер плеча	120 мм
8	Диапазон измерения момента	60–2400 Нм

Блок управления двигателем ДБМ предназначен для управления бесконтактным моментным двигателем. Он реализует следующие основные функции: контролируемый старт/стоп двигателя; изменение направления вращения вала двигателя с безопасным остановом при резкой смене направления вращения;

изменение скорости по команде от системы управления электроприводом; стабилизация скорости при изменении напряжения питания; защита электродвигателя от токовых перегрузок и короткого замыкания; защита от бросков импульсного тока; регулировка порога срабатывания токовой защиты; защита от перегрева; защита от одновременного включения транзисторов верхнего и нижнего плеча инвертора; защита от работы при неверной комбинации сигналов датчиков положения ротора; внешняя сигнализация о возникновении аварии; питание непосредственно от силовой цепи; измерение момента на выходном валу привода и выдачу сигнала на отключение электродвигателя при превышении заданной величины; изменение заданного значения момента по сигналу от системы управления электроприводом; программирование заданной скорости вращения выходного вала электропривода от системы управления электроприводом; перевод выходного вала электропривода в заданное положение по сигналу от системы управления электроприводом; выдача в систему управления электроприводом информации об ошибках функционирования; выдача в систему управления электроприводом телеметрической информации (скорость вращения, текущее положение выходного вала, потребляемая мощность, температура обмоток электродвигателя). В состав блок управления входят: датчик положения ротора, стабилизатор напряжения, блока питания, датчик тока, трехфазный мост, оптическая развязка, датчик положения, микроконтроллер.

Микроконтроллер вырабатывает управляющие ШИМ сигналы, которые через оптическую развязку поступают на трехфазный мост, представляющий собой трехфазный инвертор. На микроконтроллер поступают сигналы от датчиков тока, датчика температуры и датчика положения. Связь модуля управления 5ДБМ140-4-3,7-3 с пультом местного управления осуществляется по интерфейсу связи RS485 с помощью преобразователя интерфейса ADM485.

Заключение

Модификации разработанной ИИиУС обеспечивают управление ЭП с различными типами электродвигателей (двигатель бесконтактный моментный (М1), двигатель асинхронный мощностью до 5,5 кВт с регулированием частоты вращения (М2) и без регулирования частоты вращения (М3), двигатель асинхрон-

ный мощностью до 100 Вт (М4)). Блок управления может принимать и выполнять команды управления, получаемые им по средствам промышленной сети CAN, а также команды от встроенного пульта местного управления, задаваемые при помощи кнопок. Блок управления может осуществлять самотестирование и тестирование различных частей электропривода (электродвигатель, редуктор) и в случае ошибок или аварии вырабатывать сигналы для центральной управляющей ЭВМ. В блоке местного управления реализуются основные интеллектуальные функции электропривода:

1. Работа привода в сети с использованием протокола обмена информацией CANopen дает возможность более эффективно обнаруживать ранний отказ компонентов и тем самым снизить время простоя.

2. Самодиагностика – позволяет выйти на уровень безопасности, соответствующий требованиям IEC 61508.

3. Хранение диагностических данных дает возможность проводить анализ долговременной работы привода.

4. Визуализация параметров работы привода на световых индикаторах позволяет контролировать основные состояния работы привода и положения арматуры.

5. Дистанционное управление приводом по проводным каналам связи – служит для реализации удобного интерфейса управления при использовании привода в труднодоступных местах и обеспечения высокой надежности канала связи.

6. Контроль положения арматуры в состояниях «открыто» и «закрыто».

7. Контроль положения арматуры в промежуточных состояниях – позволяет устанавливать промежуточные положения арматуры, обеспечивая регулирование потока в трубопроводе.

8. Кроме управления направлением движения привода в системе возможны установка времени задержки между реверсами, запрет вращения в крайних положениях в направлении дальнейшего закрытия или открытия.

9. В блоке управления электропривода реализованы методы остановки по положению и метод остановки по моменту.

10. Автоматическая калибровка привода – позволяет автоматически настроить привод в зависимости от типа арматуры.

11. Устройство местного подогрева дает возможность избежать выпадения влаги на элементах электронных схем и механических элементах конструкции, а также обеспечивает работу привода при температурах менее $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

12. Установка выходной скорости вала привода – реализуется программно в пульте местного управления, что существенно сокращает типоразмерный ряд электроприводов.

13. Изменение выходной скорости вала привода в процессе работы позволяет при необходимости обеспечить программный режим движения запорной арматуры и обеспечивает защиту от гидроудара и кавитации. При поступлении сигнала «авария» эта функция позволяет выполнить перемещение рабочего органа в заранее заданное положение с заранее заданной скоростью.

14. Обеспечение стабильной работы привода при отклонении напряжения питания и частоты – обеспечивает защиту привода и увеличивает срок службы двигателя.

15. Постоянный мониторинг крутящего момента – позволяет отказаться от использования моментных выключателей, при этом регистрация диаграмм крутящего момента и сравнение их с опорной диаграммой раскрывают

дополнительные возможности по диагностике привода и арматуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Список использованных источников

1. Средства управления приводами *AUMA MATIC AM01.1-AM02.1, AME×BO.1, AME×CO.1*. Описание продукции, 19с.
2. *Мозжечков, В.А.* Третье поколение тульских электроприводов для атомных станций. – серия ЭП4 / В.А. Мозжечков / Арматуростроение, №2 (65) – Санкт-Петербург, 2010. – С.82-85.
3. *Родионов, В.И.* Электродвигатели для интеллектуального электропривода трубопроводной арматуры / В.И. Родионов [и др.] // Инженерный журнал «Справочник» с Приложением № 7 (172). – М. : Спектр, 2011. – С. 11–16.
4. *Пашин, А.А.* Базовая кинематическая схема многопоточного квазидифференциального многооборотного электропривода / А.А. Пашин [и др.] // Инженерный журнал «Справочник» с Приложением № 7 (172). – М. : Спектр, 2011. – С. 37–41.

Raspopov V.J., Alaluev R.V., Ivanov J.V., Malyutin D.M.

Information-measuring and operating system of the multiturnaround electric drive of pipeline armature

It is considered the information-measuring and operating system of new generation for the multiturnaround electric drive of pipeline armature of high level of intellectualization. (E-mail: tgupu@yandex.ru)

Key Words: multiturnaround electric drive, pipeline armature.

Поступила в редакцию 14.10.2011.