

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н.И. Никифорова

«30» мая 2022 г.


**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине (модулю)  
**Б1.В.ДВ.03.01 «Микропроцессорные системы управления**  
**энергетическими объектами»**  
(наименование дисциплины (модуля))  
**13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**  
(код и наименование направления подготовки/ специальности)  
**«Электроснабжение»**  
(наименование профиля/программы/направленности/специализации)  
**Магистр**  
квалификация  
**очная/очно-заочная**  
форма обучения

Нижекамск, 2022 г.



Составитель ФОС:

Доцент  
(должность)

  
(подпись)

Е. Н. Гаврилов  
(Ф.И.О.)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры электротехники и энергообеспечения предприятий, протокол от 21.04.2022 г. №8.

Зав. кафедрой

  
(подпись)

Е. В. Тумаева  
(Ф.И.О.)

Эксперт:

Руководитель ООП Тумаева Е.В., зав. кафедрой ЭТЭОП НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»  
Ф.И.О., должность, организация, подпись



Наименование занятия	Основное отделение		Очно-заочное отделение	
	Часы	Зачетные единицы	Часы	Зачетные единицы
Лекции	20	0,24	9	0,25
Практические занятия	20	0,56	18	0,3
Демографические занятия	20	0,78	15	0,3
Самостоятельная работа	24	1,07	34	1,3
Всего часов по учебной работе	114	2,3	104	2,3
Формы отчетности	Эксперт	Эксперт	Эксперт	Эксперт
Средняя оценка	2,7	0,75	2,7	0,75
Всего	114	2,3	104	2,3

Нижнекамск 2022 г.



***Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины***

Компетенция:

ПК-1 Способен разрабатывать научно-методическое и учебно-методическое обеспечение реализации программ профессионального обучения

Индикаторы достижения компетенции:

ПК-1.1 Знает методологические основы современного профессионального образования, теорию и практику по программам профессионального обучения, перспективные направления развития профессионального обучения

ПК-1.2 Умеет разрабатывать научно-методическое и учебно-методическое обеспечение реализации программ профессионального обучения с учетом требований нормативно-методических документов, требований рынка труда, в том числе профессиональных стандартов.

ПК-1.3 Владеет навыками разработки (обновления) методических и учебных материалов, обеспечивающих реализацию программ профессионального обучения.

ПК-5 Способен разрабатывать проект автоматизированной системы управления технологическими процессами.

Индикаторы достижения компетенции:

ПК-5.1 Знает требования нормативных документов, правила разработки проектов автоматизированной системы управления технологическими процессами, правила проведения обследования объекта автоматизации;

ПК-5.2 Умеет определять характеристики объекта автоматизации и критерии оценки эффективности работы и методы повышения энергоэффективности объекта автоматизации;

ПК-5.3 Владеет навыками проектирования автоматизированной системы управления технологическими объектами.

Для очного и очно-заочного отделений

Индикаторы достижения компетенции	Этапы формирования в процессе освоения дисциплины				Наименование оценочного средства
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Курсовой проект (работа)	
ПК-1.1	Тема 1-4, Тема 7-11	Тема 7	Тема 7, Тема 10-11	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1-5/практическая работа/экзамен
ПК-1.2	Тема 1-4, Тема 7-11	Тема 7	Тема 7, Тема 10-11	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1- 5/практическая работа/экзамен
ПК-1.3	Тема 1-4, Тема 7-11	Тема 7	Тема 7, Тема 10-11	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1-5/практическая работа/экзамен
ПК-5.1	Тема 1-4, Тема 7-11	Тема 7	Тема 7, Тема 10-11	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1- 5/практическая работа/экзамен
ПК-5.2	Тема 1-4, Тема 7-11	Тема 7	Тема 7, Тема 10-11	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1-5/практическая работа/экзамен
ПК-5.3	Тема 1-4, Тема 7-11	Тема 7	Тема 7, Тема 10-11	Не предусмотрены	Лабораторная работа 1- 5/практическая работа/экзамен

***Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)***

**Для очного и очно-заочного отделений**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа № 1-2	1	10	16
Лабораторная работа №3	1	5	8
Лабораторная работа №4	1	5	8
Лабораторная работа №5	1	5	8
Практическая работа №1	1	11	20
Экзамен		24	40
Итого:		60	100

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

### Краткая характеристика оценочных средства

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	2	3	4
1	Лабораторная работа	<p>Это вид учебной работы, целью которой является изучение (исследование, измерение) характеристик лабораторного объекта.</p> <p>Цель лабораторных занятий: освоение изучаемой учебной дисциплины; приобретение навыков практического применения знаний учебной дисциплины (дисциплин) с использованием технических средств и (или) оборудования</p>	Темы лабораторных работ, контрольные вопросы по теме лабораторной работы, вопросы к коллоквиуму
2	Практическое занятие	<p>В ходе практических работ студенты овладевают умениями пользоваться работать с нормативными документами и инструктивными материалами, справочниками, составлять техническую документацию; выполнять чертежи, схемы, таблицы, решать разного рода задачи, делать вычисления, определять характеристики различных веществ, объектов, явлений. Цель практических занятий заключается в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач в процессе совместной деятельности с преподавателями.</p>	Темы практических занятий; контрольные вопросы и задания по теме практического занятия

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический (институт) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий  
Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки **13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**  
Программа подготовки **«Инновационные технологии в электрохозяйстве  
нефтехимических предприятий»**

### **Перечень лабораторных работ по дисциплине**

По дисциплине **«Микропроцессорные системы управления энергетическими  
объектами»**

(для очного и очно-заочного отделений)

**Лабораторная работа № 1-2 «Регулирование уровня на базе программно-технических  
средств фирмы Mitsubishi-electric»**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

1. Изучение процессов автоматического регулирования уровня жидкости с применением ПЛК (FX3U) и панели оператора (GOT2000).
2. Получение начальных навыков написания программы для автоматического регулирования уровня жидкости.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Регулирование уровня жидкости необходимо практически во всех сферах деятельности человека, начиная от автоматического регулирования уровня воды в барабанах больших промышленных котлов и заканчивая уровнем воды в оросительном баке на даче. И если во втором случае уровень воды можно определить визуально, после чего долить несколько ведер с водой, то в первом случае данный способ будет несколько неудобен, из-за размеров установки, а так же протекающих внутри нее процессов. В связи с этим в промышленности получило большое распространение автоматическое регулирование уровня жидкости.

Прежде всего, разберемся в процессе, автоматизацию которого предстоит сделать. В качестве изучаемого процесса взят процесс регулирования уровня жидкости в ёмкости. Ниже представлена схема стенда, реализующего данный процесс.





Питание контроллера и подключенной к нему графической панели *GT1055-QSBD* обеспечивается блоком питания *ALPHA POWER 24-2.5*.

Для программирования контроллера и графической панели используется фирменный программный пакет *MELSOFT iQ Works*. Это интегрированный пакет программного обеспечения, объединяющий приложения как для написания программы для ПЛК, так и для разработки интерфейса для графической панели оператора.

Для того, что бы описанные выше процессы могли происходить, необходимо написать программу, учитывающую все нюансы работы лабораторной установки. Написание программы производится на языке *LD (Ladder Diagram)*.

Основными элементами языка являются контакты, которые можно образно уподобить паре контактов реле или кнопки. Пара контактов отождествляется с логической переменной, а состояние этой пары — со значением переменной.

Различаются нормально-замкнутые и нормально-разомкнутые контактные элементы, которые можно сопоставить с нормально замкнутыми и нормально разомкнутыми кнопками в электрических цепях.

—| — Нормально-разомкнутый контакт разомкнут при значении ложь, назначенной ему переменной и замыкается при значении истина.

—|/| — Нормально-замкнутый контакт, напротив, замкнут, если переменная имеет значение ложь, и разомкнут, если переменная имеет значение истина.

—( )— Итог логической цепочки копируется в целевую переменную, которая называется катушка (англ. *coil*). Это слово имеет обобщенный образ исполнительного устройства, поэтому в русскоязычной документации обычно говорят о выходе цепочки, хотя можно встретить и частные значения термина, например катушка реле.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В приложениях *GX Works2* и *GT Designer3* необходимо реализовать управляющую программу и интерфейс панели управления, описанные ниже, после чего – загрузить данные проекты в контроллер и панель управления соответственно.

Для начала создадим программу управления техпроцессом, а после этого программу для панели управления. Что бы начать работу необходимо открыть программу *GX Works2*. В верхнем меню выберем *Project=>New*. Должно появиться окно задания параметров нового проекта. В *Project Type* выберем *Simple Project*, в *PLC Series* задаем тип ПЛК – *FXCPU*, далее в *PLC Type* выбираем модель нашего ПЛК *FX3U/FX3UC*, в последнем выпадающем списке *Language* выбираем язык программирования релейных диаграмм – *Ladder*. Жмем ОК.

Перед нами появляется окно написания программы (рисунок 2). В левой части находится панель навигации проекта (*Navigation*), сверху – панель инструментов, внизу лист устройств и список выходов контроллера. Как уже было указано ранее, язык релейных диаграмм состоит из нескольких типов элементов, все они расположены в правой части панели инструментов.

Напишем первую ветвь нашей программы, которая будет отвечать за активирование выхода, управляющего моторчиком насоса подачи воды.

Что бы начать писать программу необходимо нажать кнопкой мыши на, пока, единственной ветке в нашей программе и выбрать в панели инструментов нормально-разомкнутый контакт (*Open Contact*). Появится окошко, в котором нужно задать операнд, который будет отождествляться в программе с этим контактом. Зададим операнд *M7670* и нажмем ОК. Ветвь с *END* переместится вниз, а наш контакт станет отдельной веткой. Синий курсор переместился в конец нашей новой ветви. Здесь мы создадим еще один нормально-открытый контакт и присвоим операнд *M7671*. Нажав ОК, видим, что появился еще один контакт и синий курсор снова переместился в конец ветви. Теперь необходимо добавить катушку (*Coil*) из той же панели инструментов. Операнд *Y002*. В результате мы имеем две ветви, оканчивающиеся на *Y002* и *END* соответственно.

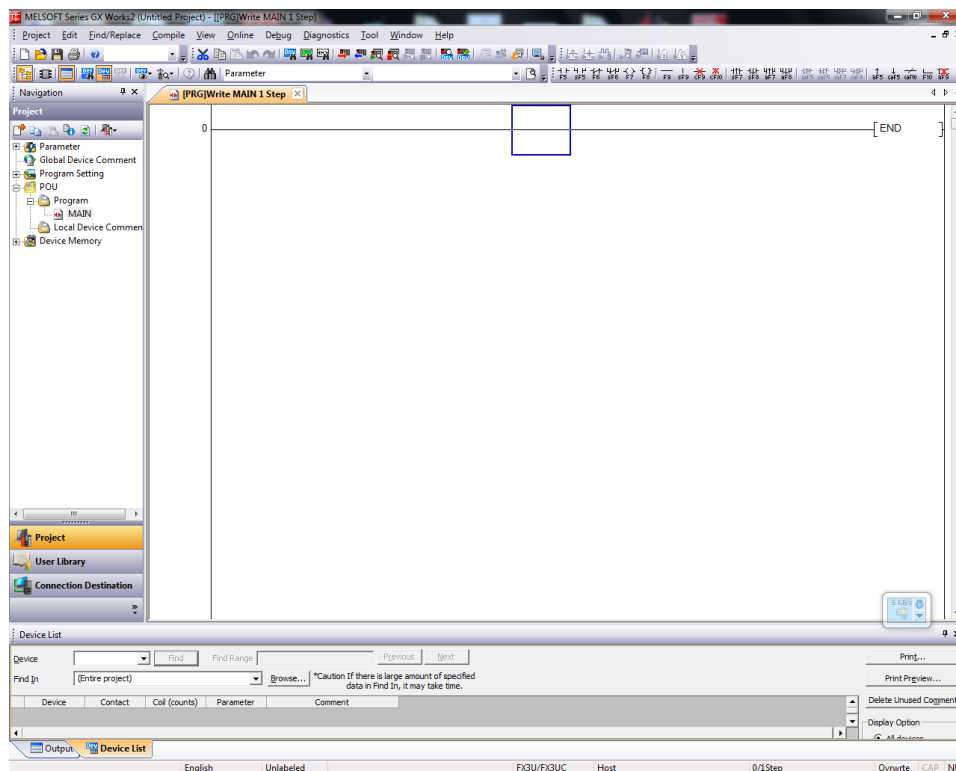


Рис. 2 – Интерфейс среды программирования GX Works2

Создадим еще ветвь, состоящую из двух нормально-открытых контактов *M7672* и *M7673*. Для этого надо нажать правой кнопкой мыши на ветви с *END* и выбрать в появившемся меню *Edit=>Insert Row*. У нас появится пустое место для новой ветви. Нажмем левой кнопкой в начале места для будущей ветви, что бы поместить туда синий курсор. Теперь помещаем туда нормально открытые контакты *M7672* и *M7673* аналогично тому, как мы сделали *M7670* и *M7671*. После этого при помощи *Vertical Line* из панели инструментов присоединим новую ветвь к той, что создали до этого.

Теперь у нас есть две ветви объединенную на выходе в одну и третья замыкающая ветвь с *END*. Создадим еще одну ветвь, аналогичную второй, с нормально-открытыми контактами *M7674* и *M7675* и так же присоединим ее к объединенным выше ветвям. В результате получим ветвь, изображенную на рисунке 3.



Рис. 3 – Ветвь активации выхода управления двигателем

Данная ветвь активирует физический выход контроллера *Y2* (катушка *Y002*) когда в одной из трех пар контактов оба окажутся замкнутыми, т.е. будут иметь значение *TRUE*. Сигнал для каждой из этих пар будет генерироваться отдельно, в зависимости от выбранного нами режим управления: *M7670* и *M7671* при управлении по дискретному сигналу, *M7672* и *M7673* при управлении по аналоговому сигналу, *M7674* и *M7675* при ручном управлении. Теперь нужно создать ветви управления для каждого из этих режимов регулирования.

Ниже созданной нами ветви выполним *Edit=>Insert Row* и получим свободное место для написания ветви управления по дискретному сигналу. Создадим ветвь с нормально-открытым контактом *X002* (данный контакт будет считывать сигнал с физического входа *X2*) и катушкой *M7670* (она будет замыкать контакт *M7670* из ветви, написанной нами ранее). Получаем ветвь, изображенную на рисунке 4.



Рис. 4 – Ветвь управления по дискретному сигналу

Следующим шагом станет написание веток для режима управления по аналоговому сигналу. Для этого нам необходимо задействовать специальный модуль *FX2N-5A*. Данный модуль имеет четыре канала ввода и один канал вывода аналоговых сигналов. Для обмена данными между базовым блоком и специальным модулем используются две прикладные команды: *TO* и *FROM*. В специальном модуле имеется область памяти, в которой, например, промежуточно хранятся (буферизуются) аналоговые измеренные значения или принятые данные. В связи с таким использованием эта области памяти обозначается как «буферная память» (Buffer Memory, сокращенно *BFM*). К буферной памяти в специальном модуле может получать доступ и базовый блок, например, чтобы считать измеренные значения или принятые данные, или чтобы внести данные, которые специальный модуль затем обрабатывает дальше (настройки для функционирования специального модуля, передаваемые данные и т. п.).

Снова создаем ниже место для следующей ветви. Теперь необходимо написать последовательность ветвей, изображенную на рисунке 5, где имеются элементы с квадратными скобками, называющиеся *Application Instruction*. Данный элемент, как и все остальные, берем из панели инструментов.

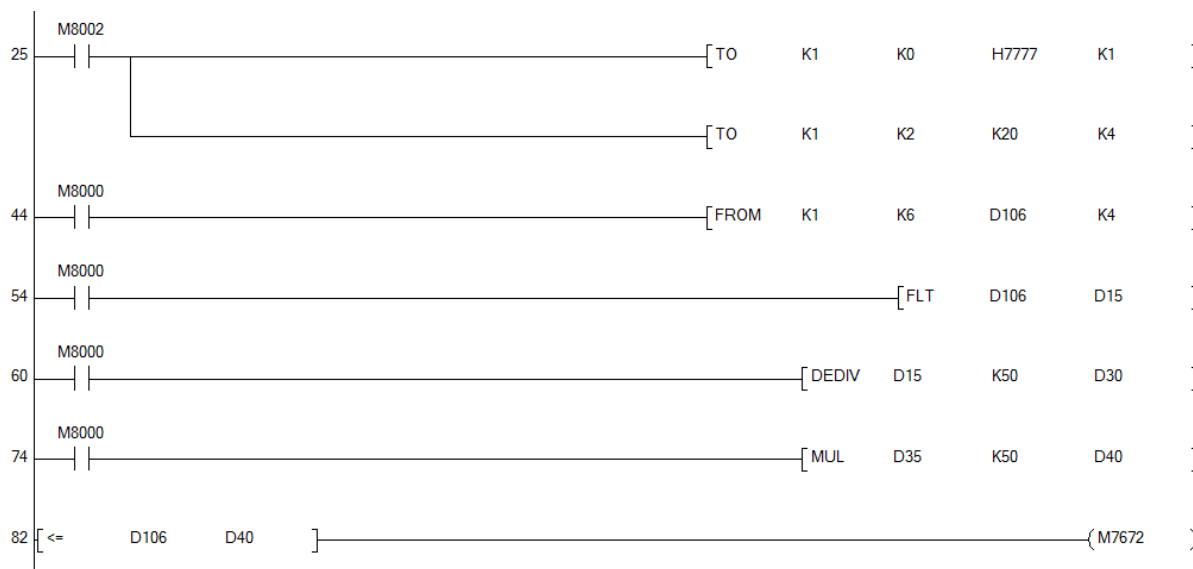


Рис. 5 – Последовательность ветвей управления по аналоговому сигналу

В первой ветке происходит инициализация входа. Специальный маркер *M8002* устанавливается только в первом цикле после включения программируемого контроллера. Далее следует команда в квадратных скобках. Она расшифровывается следующим образом. После команды *TO* указывается номер подключаемого специального модуля. Номера специальных модулей начинаются с нуля. В нашем случае модуль *FX2N-5A* является вторым по счету подключенным блоком и имеет номер 1 (первым установлен коммуникационный *Ethernet* модуль *FX3U-ENET*, соответственно он имеет номер 0).



Затем указывается номер *BFM*. В модуле *FX2N-5A* каждая *BFM* имеет номер от 0 до 249 и имеет определенное назначение. Так *BFM* с номером 0 (*BFM* #0) содержит настройки, необходимые для использования аналоговых входов модуля. Назначение каждой *BFM* можно найти в техническом руководстве к данному модулю.

Далее указывается значение, которое будет записано в *BFM* #0. Это код, состоящий из четырех чисел в шестнадцатеричном формате. Каждое число соответствует своему выходному каналу и может иметь значение от 1 до *F* (кроме значений *C*, *D* и *E*, которые не используются). Если читать этот код слева направо, то первое число соответствует четвертому каналу, а последнее первому. Значение, которое имеет каждое число, соответствует одному из 13 вариантов настройки соответствующего канала. В нашем случае *H7777* означает, что для всех четырех каналов выбран седьмой вариант работы устройства из списка доступных вариантов, что в свою очередь соответствует считыванию тока на входе в диапазоне -20мА..20мА, которые будут передаваться в ПЛК в значениях от -20000 до 20000.

Последнее значение в квадратных скобках – число передаваемых данных.

В ответвлении рассматриваемой нами ветви программы настраивается усреднение считываемых аналоговых значений. Снова в квадратных скобках используется команда *TO*, указывается номер подключаемого специального модуля, номер *BFM* (в данном случае это *BFM* #2, предназначенная для хранения значения, определяющего количество выборок для вычисления среднего значения аналогового сигнала в первом канале), заданное нами количество выборок (в нашем случае 20) и число передаваемых данных.

В следующей ветке, при активации специального маркера *M8000* (всегда равен «1» при состоянии ПЛК *RUN*), данные, при помощи команды *FROM*, считываются из *BFM* #6 (хранит усреднённое значение аналогового сигнала) и сохраняются в переменную *D106*. Как и в предыдущих командах здесь первое значение – номер подключаемого специального модуля, последнее – число передаваемых данных.

В третьей ветке данные из *D106* сохраняются в *D15*, меняя свой формат с 16-битового целого числа на 32-битовое с плавающей точкой.

В ветке номер четыре данные из *D15* делятся на 50 и сохраняются в *D30*, при помощи команды деления чисел с плавающей точкой *DEDIV*. Это сделано для того, чтобы преобразовать значения из системных единиц в привычные нам значения.

В пятой ветке число *D35* (значение уровня жидкости в процентах, вводимое с графической панели управления) умножается на 50, для сравнения со значением, хранящимся в *D106* (реальным уровнем жидкости, считываемым с модуля аналогового ввода/вывод).

В следующей ветке данные из *D40*, сравниваются с *D106* и если первое меньше последнего, то происходит активация катушки *M7672*, которая в свою очередь активирует нормально-открытый контакт *M7672* в ветви активации выходного сигнала.

Ручное управление осуществляется замыканием контакта *M7674* (рис. 3) при нажатии кнопки на графической панели управления.

Как вы заметили, в перечисленных выше режимах управления происходит замыкание лишь одного из пары контактов, необходимых для прохождения сигнала на выходную катушку *Y002*. Не задействованными остались контакты *M7671*, *M7673* и *M7675* (рис. 3). Эти контакты являются контактами-условиями выбора необходимого режима управления, иначе говоря – пока *M7671* не будет замкнутой, сигнал с *M7670* не пройдет дальше.

Написанную нами программу необходимо скомпилировать (*Build* в панели инструментов) и загрузить в память контроллера. Слева на экране жмем «*Connection Destination*», два раза кликаем на *Connection1* и в появившемся меню, в графе *PC Side I/F*, два раза кликаем на *Serial USB* и выбираем *USB*, в поле *PLC Side I/F* выбираем *GOT*, а в *Other Station Setting* выбираем *No Specification*. Жмем *Connection Test*, и после

прошедшего теста подключения жмем *OK*. Мы создали подключение к контроллеру через его графическую панель.

Теперь что бы загрузить программу в ПЛК выбираем сверху в меню *Online=>Write To PLC*, устанавливаем галочки на всех элементах и жмем *Execution*.

Теперь мы имеем законченную программу по регулированию жидкости, находящуюся внутри контроллера. Следующим шагом станет создание графического интерфейса для панели управления.

Заходим в программу *GT Designer3*. В верхнем меню выберем *Project=>New*. Должно появиться окно задания параметров нового проекта. Ставим маркер напротив *Display New Project Wizard*, далее жмем *NEXT*. В *GOT Type* выбираем наш тип экрана – *GT10\*\*-Q (320x240)*, *Setup Direction* – *Horizontal*, *Color Setting* – *256*, далее жмем *NEXT*. Проверяем наши параметры и снова жмем *NEXT*. Выбираем в *Manufacturer* изготовителя *MITSUBISHI*, в *Controller Type* модель нашего контроллера *MITSUBISHI-FX* и жмем *NEXT*. Теперь в *I/F* выбираем тип нашего подключения с контроллером – *Standart RS-422*, жмем *NEXT*, и далее на следующих трех экранах так же жмем *NEXT*, ничего не изменяя. После чего на финальной странице жмем *FINISH* и попадаем на экран программирования панели.

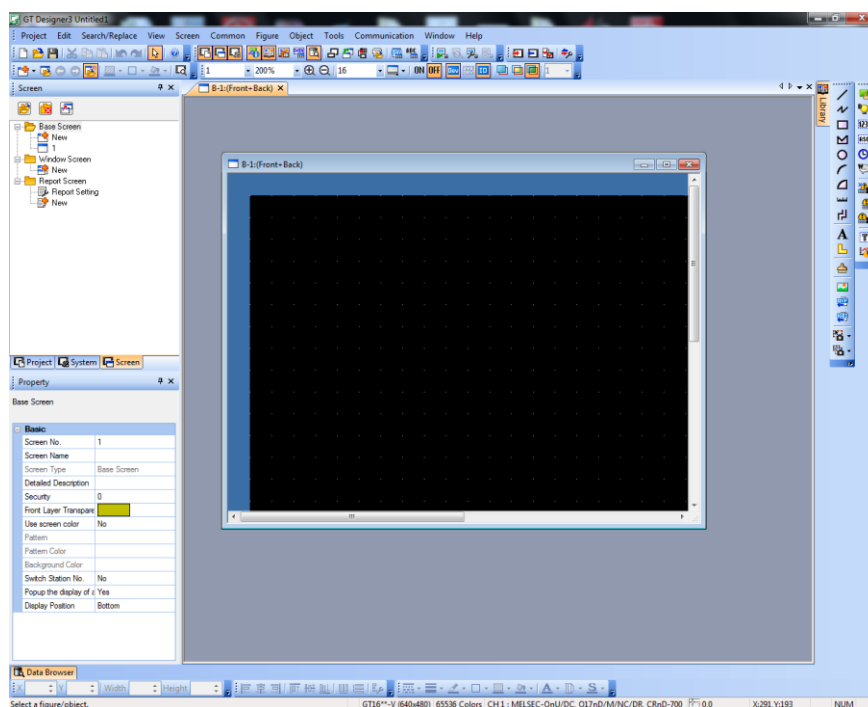


Рис. 6 – Интерфейс среды программирования *GT Designer3*

В левой части находится панель навигации проекта, сверху и справа – панели инструментов. В панели инструментов справа находятся все графические элементы, необходимые нам для создания графической панели управления. Слева в *Base Screen* выберем экран с названием «1», если такого нет, то жмем на *New* и создаем экран с таким именем. На экран помещаем из панели инструментов элемент *Go To Screen Switch* (нажимаем на стрелочку рядом с элементом *Switch* и из выпадающего списка выбираем необходимый нам). Нажимаем два раза левой кнопкой мыши на данном элементе, и откроется меню его свойств, где в *Screen No* мы задаем номер страницы, на которую будет переходить экран, при нажатии на данный элемент на панели. Зададим номер 2. Вверху окна задания элемента есть так же переходы в другие части данного окна, где задаются различные свойства элемента, задайте в *Text* надпись, которая будет на кнопке «По дискретному сигналу», после чего жмем *OK* и растягиваем элемент под необходимый размер (что бы надпись была видна полностью).

Аналогично на данном экране создаем два таких же элемента, но с переходами на страницы 3 и 4, а так же с надписями «По аналоговому входу» и «Ручное» соответственно. Так же поместим с панели инструментов, в верхней части рабочего экрана, элемент *Text* с надписью «Выбор типа регулирования». В результате у нас должен получиться экран как на рисунке 7.

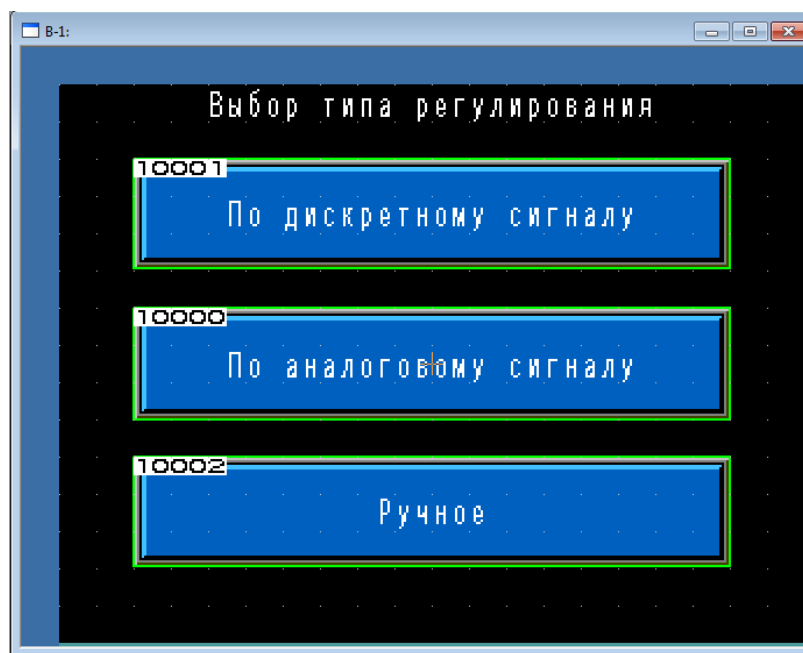


Рис. 7 – Внешний вид экрана выбора типа регулирования

Создадим новый экран с названием «2». Вверху слева поместим надпись *Text* «Регулирование по дискр-му сигналу». Рядом с этой надписью поместим *Switch*. Нажав два раза на него, появится меню задания свойств. Справа видим *Bit*, жмем на эту кнопку, и появляется окно для задания действия, которое будет происходить при нажатии на данный *Switch*. В поле *Device* впишем *M7671*, а в *Action* выберем *Set*. Жмем *OK*. Теперь мы видим, что в *Action List* добавилось одно действие. Аналогично добавим в этот лист *M7673* и *M7675*, но в свойстве *Action* установим *Reset*. После чего в свойстве *Text* напишем «ВКЛ» и выберем необходимый цвет кнопки при ее включении и отключении. Получилась кнопка, при нажатии на которую активируется контакт *M7671*, и отключаются *M7673* и *M7675*. Т.е. – активируется управление по дискретному сигналу, и отключаются управление по аналоговому сигналу и ручное управление.

Создадим аналогично еще один подобный элемент, который будет отключать *M7671*, *M7673*, *M7675*, назовем его «СТОП» и придадим ему красный цвет.

Теперь поместим элемент *Go To Screen Switch* вверху экрана, и зададим ему свойство перехода на пятый экран и надпись «парам». Это будет нашим переходом на экран параметров.

Создадим еще один *Go TO Screen Switch* вверху экрана, и в нем для *detail Settings* выберем *Back*. Дадим название нашему элементу «назад». При нажатии на него мы будем переходить на предыдущую страницу.

Возьмем элемент «*Lamp*» и поместим на наш экран. Это лампа, которая будет загораться, когда будет активирован необходимый контакт или катушка. В поле *Device* пишем *Y002*. Т.е. – при включенной катушке *Y002* лампа будет гореть и сообщать нам о том, что выход *Y2* активен в данный момент.

Следующим используемым элементом будет *Numerical Display*. В его свойствах зададим в поле *Device* устройство *D30*, иначе говоря – этот элемент будет выводить на экран число, которому равна переменная *D30*.

Теперь добавим текстовые поля на экране, что бы получился экран панели, как на рисунке 8.

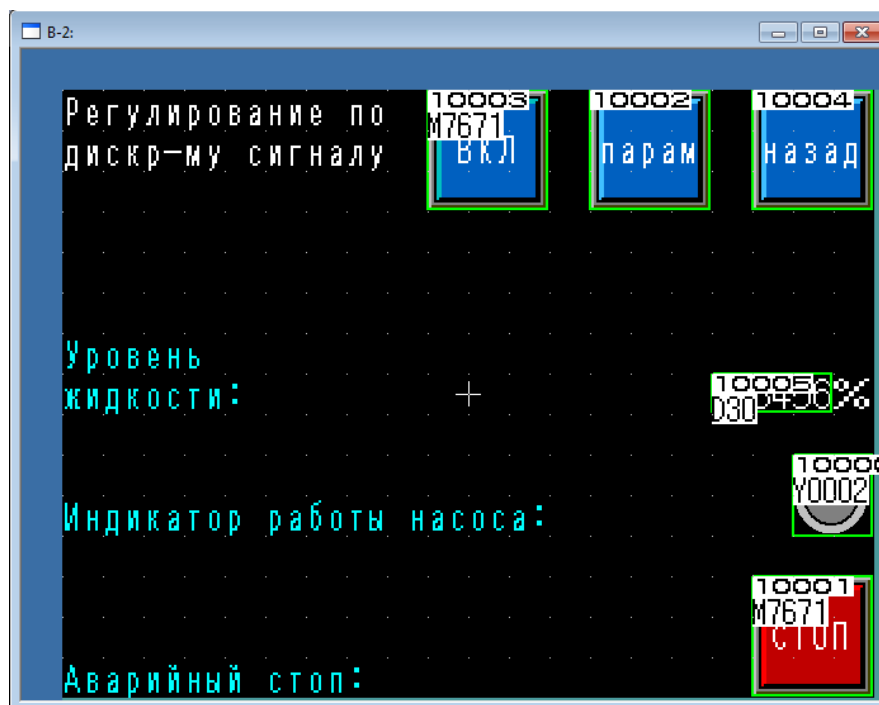


Рис. 8 – Внешний вид экрана регулирования по дискретному сигналу

Скопируем получившийся экран в меню навигации проекта слева и дадим новому экрану номер 3. Теперь необходимо изменить в нем часть элементов, для получения экрана, как на рисунке 9, а именно – надпись вверху экрана, кнопка «ВКЛ» должна активировать *M7673* и отключать *M7671* и *M7675*, добавляется *Numerical Display* отображения переменной *D35* с надписью «Уставка необходимого уровня жидкости».

Скопируем экран «2» и назовем новый экран «4». В четвертом экране вместо отображения уровня жидкости будет находиться кнопка включения моторчика, являющаяся элементом *Switch*, где активируется контакт *M7671* со свойством *Action* установленным как *Momentary*. Элемент «ВКЛ» должен активировать *M7675* и отключать *M7671* и *M7673*.

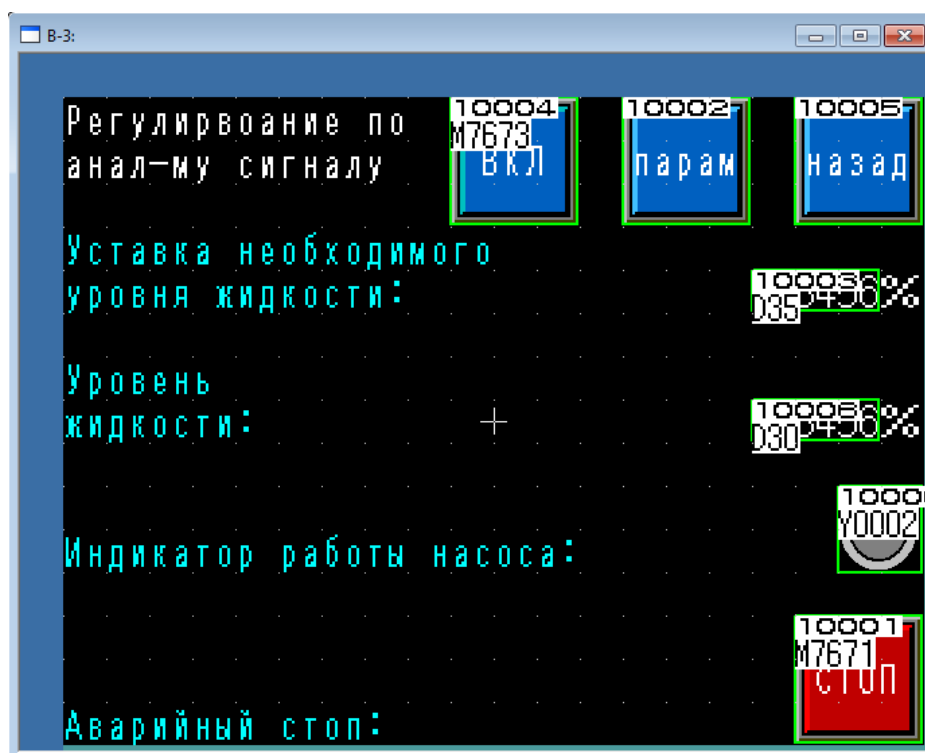




Рис. 9 – Внешний вид экрана регулирования по аналоговому сигналу

Создадим последний пятый экран, на котором будут параметры установки. На данной странице панели управления отображаются данные, общие для всех типов регулирования, поэтому в нее можно попасть из страницы любого из экранов управления.

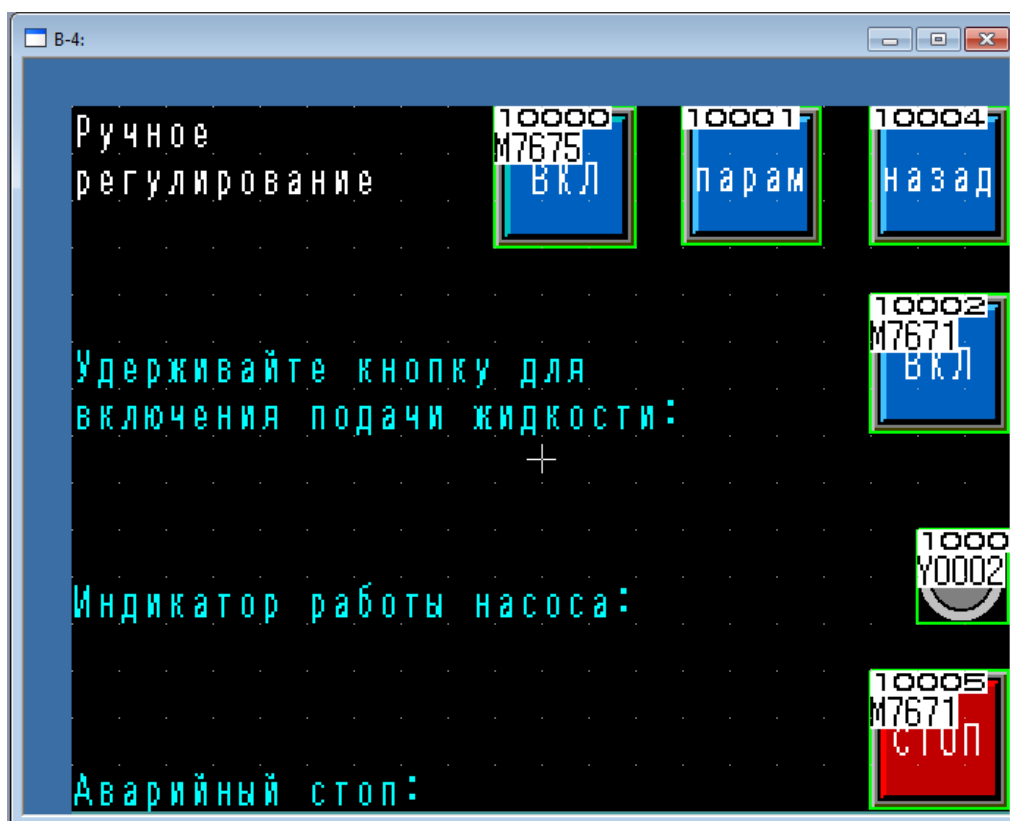


Рис. 10 – Внешний вид экрана ручного регулирования

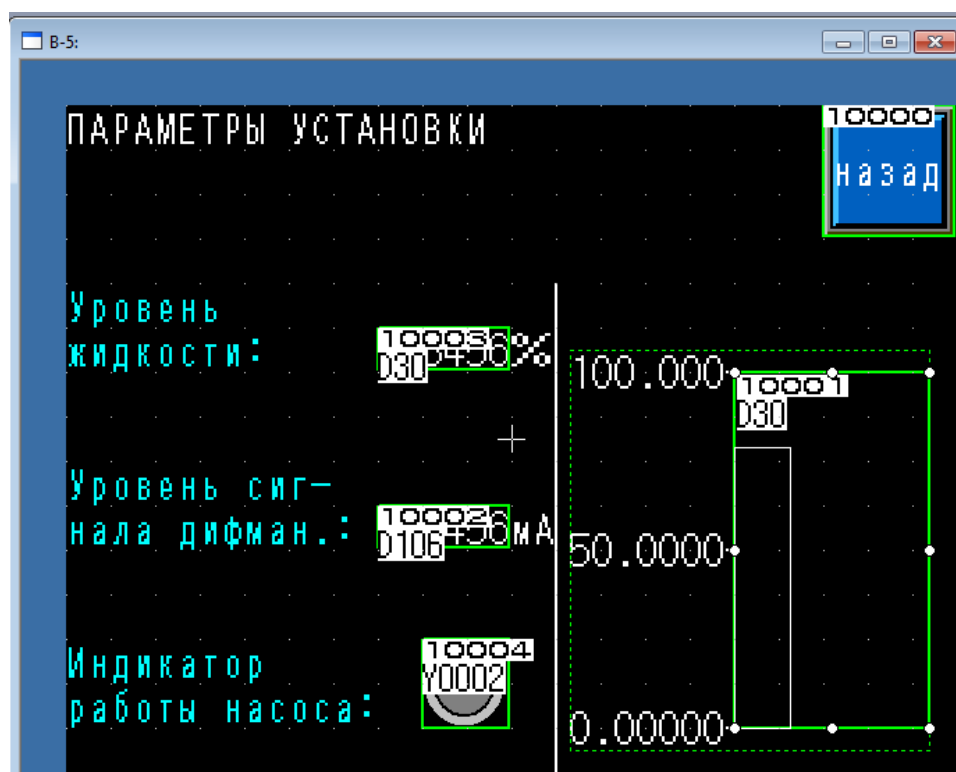


Рис. 11 – Внешний вид экрана параметров установки

Поместим элементы *Numerical Display* отображающие числа из переменных *D30* и *D106*, а так же *Lamp* активирующуюся *Y002*. Дадим соответствующие надписи при помощи элементов *Text*. Справа поместим элемент *Bar Graph*. Необходимо нажать на стрелку в панели инструментов рядом с элементом *Graph* и выбрать необходимый элемент *Bar Graph*. В *Device* выбрать *D30*, а в полях *Lower Limit* и *Upper Limit* написать 0 и 100 соответственно. *Base Value* задать равным 0. Вверху экрана поместить кнопку «назад», такую же, как и в предыдущих экранах.

Теперь загрузим нашу программу в графический дисплей. Для этого вверху в меню выберем *Communication=>Write to GOT*, выберем способ подключения *USB* и нажмем *OK*.

При запуске установки на экране появляется меню выбора режима регулирования процессом. Выбрав один из этих вариантов, мы переходим на страницу соответствующего процесса регулирования, на которой имеется возможность активировать данный режим управления, перейти на экран общих параметров системы, вернуться в меню выбора режима, а так же присутствует лампочка-индикатор работы насоса. Кроме того, на каждой из перечисленных страниц есть дополнительные кнопки, необходимые для конкретного процесса управления, и отсутствующие на других страницах.

После загрузки соответствующих программ в контроллер и панель управления, программа начнет свою работу. Кроме того, нужно открыть красный клапан слива воды на трубе сброса, для того, что бы жидкость могла выливаться из измерительного сосуда в аккумулятор жидкости, а из него, при помощи моторчика, управляемого контроллером, снова поступать в измерительный сосуд.

**ВНИМАНИЕ** – в случае ошибок в коде мотор, качающий воду, может во время не остановиться на необходимом уровне! В таком случае необходимо переключить тумблер управления на контроллере в режим *STOP* (рис. 12). Это остановит выполнение программы и даст возможность проанализировать ошибки. В противном случае жидкость начнет переливаться через верхний уровень измерительного сосуда, что может привести к поломке оборудования.



Рис. 12 – Расположение тумблера управления на корпусе контроллера

#### Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Принтскрин программы управления.
3. Описание элементов языка LD.

#### Контрольные вопросы

1. Оборудование *Mitsubishi Electric* представленное в установке.
2. Основные элементы интерфейса программы *GX Works2*.
3. Элементы языка LD.
4. Принцип работы установки.

5. Алгоритм работы программы управления по дискретному входному сигналу.
6. Алгоритм работы программы управления по аналоговому входному сигналу.
7. Алгоритм работы программы управления в режиме ручного управления.
8. Плюсы и минусы работы по дискретному входу, аналоговому входу, ручного управления.
9. Основные элементы интерфейса программы *GT Designer3*.
10. Элементы графической панели, использованные в проекте.

## Лабораторная работа № 3 Методы настройки преобразователя частоты фирмы Mitsubishi-electric.

### Цель работы:

- 1) Изучить основные способы настройки преобразователя частоты с помощью пульта управления и персонального компьютера;
- 2) Изучить методы вывода графиков основных характеристик с помощью персонального компьютера;

Преобразователь может работать в режимах "внешнего управления", "управления с пульта", "комбинированного управления" и "управления по последовательному интерфейсу".

Преобразователь спроектирован так, что большинство операций можно осуществлять, используя заводские установки параметров. Установить необходимые параметры в соответствии с требованиями можно, используя пульт управления FR-DU04.

### 4.1. Пульт управления

С пульта управления можно задавать частоту вращения, выдавать команды управления, устанавливать и копировать параметры, получать информацию о сбоях в работе.

#### Назначение и функции пульта управления FR-DU04

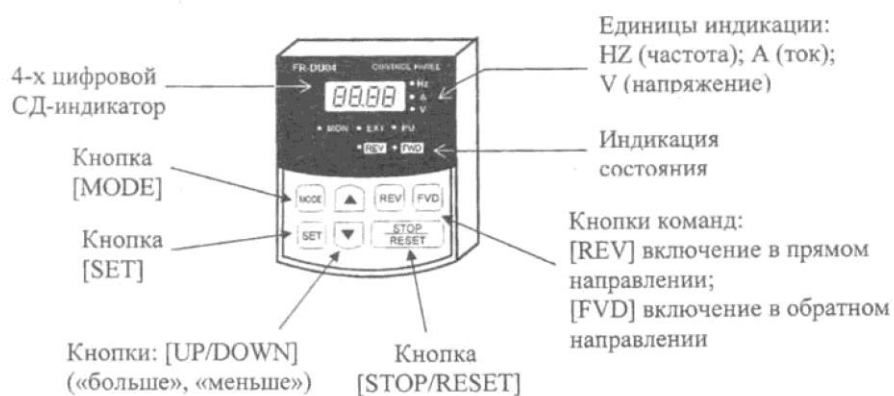


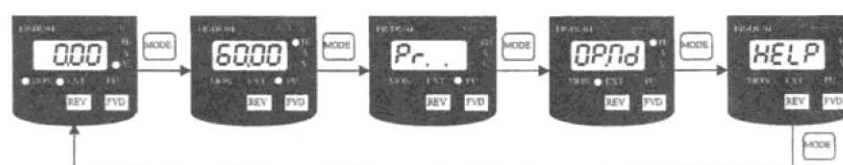
Рис. 11. Пульт управления



Таблица 3. Кнопки управления преобразователем частоты

Кнопки	Описание
[MODE]	Выбор режима работы и установки
[SET]	Установка частоты и параметров
[UP/DOWN]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применяется для изменения частоты вверх и вниз</li> <li>• Применяется для изменения значения программируемого параметра в режиме программирования</li> </ul>
[REV]	Применяется для выдачи команды пуска в реверсном направлении
[FWD]	Применяется для выдачи команды пуска в прямом направлении
[STOP/RESET]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применяется для выдачи команды останова</li> <li>• Применяется для сброса при перезапуске после срабатывания защитных функций</li> </ul>

Изменения показаний дисплея после нажатия кнопки [MODE]



Индикация    Задание частоты    Параметрирование    Работа    Режим "HELP"  
(прим.)

Рис. 12. Изменение показаний дисплея после нажатия кнопки [MODE]

Замечание: данный режим доступен только при управлении с пульта.

#### Функции кнопок

##### Режим индикации

- Индикация рабочих команд.  
Горит светодиод EXT – управление "внешними сигналами".  
Горит светодиод PU - "управление с пульта".  
Горят оба светодиода (EXT/PU) - "комбинированное управление".

- Индицируемую величину можно менять в процессе работы.



Рис. 13. Изменение индицируемой величины с пульта

Таблица 4. Примечания

- Примечания:
- \*1 Удержание кнопки [SET], более 1.5 секунд, ведет к смене режима индикации, устанавливаемого после включения питания.
  - \*2 Удержание кнопки [SET], более 1.5 секунд, высвечивает последние 4 сбоя (ошибки).
  - \*3 Переход в режимы задания параметров при внешнем управлении.

#### Режим задания частоты

- Используется для установки частоты вращения в режиме управления с пульта.



Рис. 14. Установка частоты вращения с пульта

#### Режим установки параметров

- Установка номера параметра может осуществляться с помощью последовательного нажатия кнопок [UP/DOWN], либо с помощью ввода каждой цифры номера параметра.
- Для записи параметра измените его значение и нажмите кнопку [SET] примерно на 1,5 секунд (до звукового сигнала). Запись параметра может быть произведена только при режиме «работы с пульта». Выбрать режим работы можно с помощью параметра 79. Функции параметра 79 можно посмотреть в табл. 5.

Таблица 5. Функции параметра 79

Пар. 79	Функции
0	Возможна работа с пульта или от внешних сигналов
1	Управление с пульта
2	Управление внешними сигналами
3	Комбинированный режим. Задание частоты – с пульта (прямое, с помощью кнопок [UP/DOWN]), или внешними сигналами (только в мультискоростном режиме (Пар. 4 – 6, 24 – 27, 232 – 239)). Стартовые сигналы – внешние (входы STF, STR).
4	Комбинированный режим. Задание частоты - внешнее (....2, 4, 1 , JOG, мультискоростной режим). Стартовые сигналы - с пульта ([FVD], [REV]).
5	Программное управление. Позволяет устанавливать 10 различных временных точек и соответствующую им скорость и на – вращение, для каждой из трех групп. Для полной информации об этой функции см. Пар. 200...231. Старт: STF; сброс таймера STR. Выбор групп: RH, RM, RL.
6	Режим переключения способов управления. В процессе работы возможно переключение между управлением с пульта, внешними сигналами и управлением по последовательному интерфейсу (использовании опции FR-A5NR).
7	Внешнее управление (управления с пульта). Сигнал X1 2 – Вкл. – возможно переключение на управление с пульта. Сигнал X1 2 – Выкл. – переключение на управление с пульта запрещено. Программирование функции входа (X12) происходит из параметров 180...186.

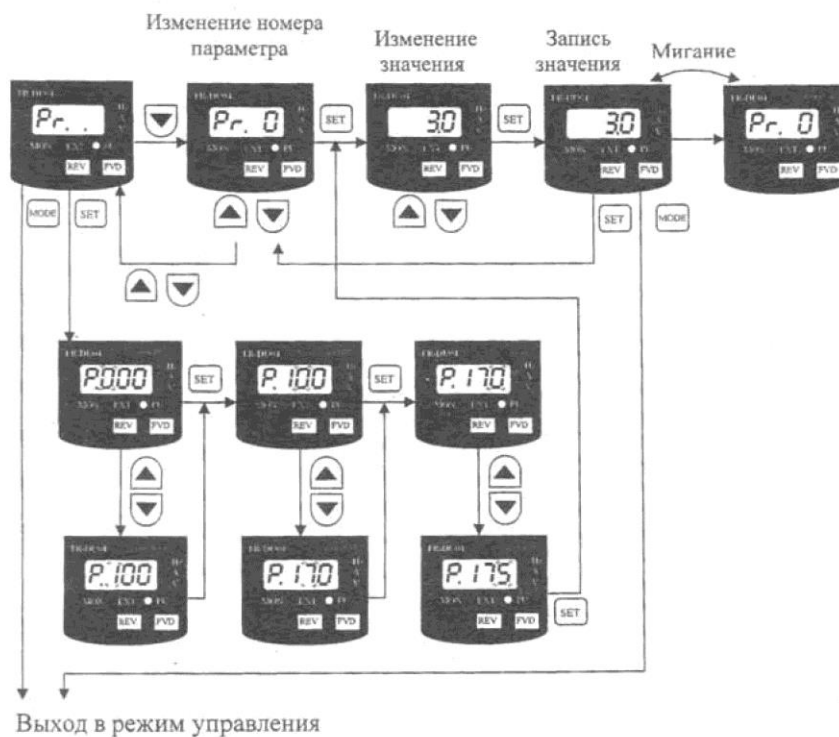


Рис. 15. Установка параметров с пульта

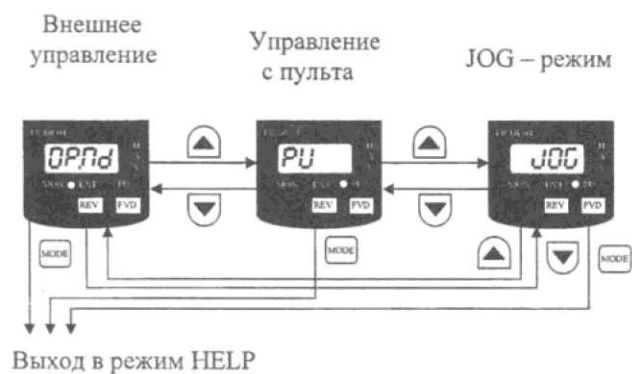


Рис. 16. Установка режимов управления с пульта

#### Режим управления

#### Режим HELP



Рис. 17. Режим HELP

- Сообщения о срабатывании защит.

Последние четыре аварийных сообщения индицируются при нажатии кнопок [UP/DOWN].

- Сброс сообщений о срабатывании защит.

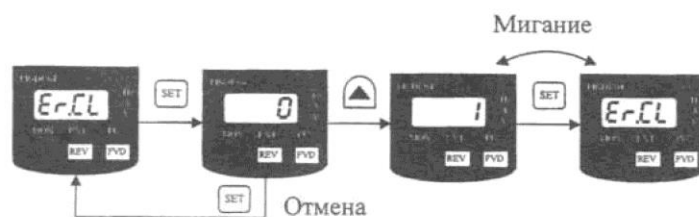


Рис. 18. Сброс сообщений о срабатывании защит

Примечание: Принципиальная электрическая схема разработана таким образом, что при возникновении ошибки и срабатывании внутреннего реле «АВАРИЯ» размыкается цепь управления контактора 1KM1 (питание силовых цепей преобразователя). Будьте внимательны, при сбросе ошибки контакты контактора вновь замыкаются.

- Сброс параметров.

Параметры устанавливаются на заводские значения. Параметры калибровки не изменяются. (При установке "1" в Пар.77 сброс не осуществляется).

Пар. 77 – запрет записи параметров. Функции параметра 77 представлены в таблице 6.

Таблица 6. Функции параметра 77

Пар. 77	Функции
0	Программирование возможно при неработающем двигателе, в режиме работы с пульта.
1	Запись запрещена. Кроме Пар .75, 77 и 79, которые могут быть перепрограммированы - ... с пульта.
2	Запись возможна в любое время.



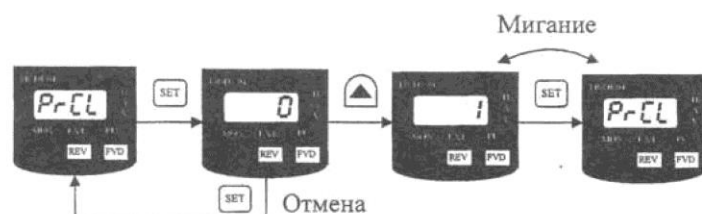


Рис. 19. Осуществление сброса параметров

- Сброс всех параметров.

Все параметры, включая калибровочные, сбрасываются на заводские значения.

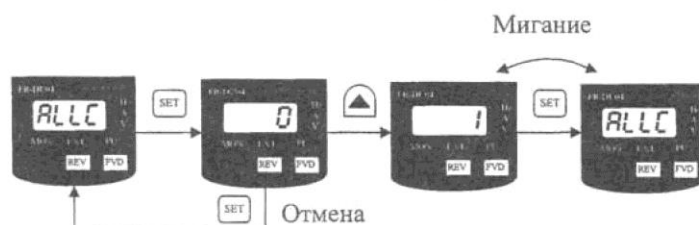


Рис. 20. Осуществление сброса всех параметров

- Сброс параметров пользователя.

Осуществляется инициализация параметров, установленных пользователем.

Другие параметры сбрасываются на заводскую установку.

#### Описание панели управления преобразователем частоты

Панель управления используется в режиме «внешнего управления» и «комбинированного управления». Кнопки на панели подключены к клеммам (терминалам) преобразователя, подача сигналов на которые активизирует соответствующие функции.

Следующая таблица содержит наименование кнопок панели управления, соответствующие клеммы преобразователя и активизируемые ими функции.

Таблица 7. Кнопки управления сервоприводом

Наименование	Клемма преобразователя	Функция
1KM1	----	Включение контактора 1KM1. Питание силовых цепей преобразователя.
n	10	Источник питания потенциометра.
	2	Вход сигнала задания по напряжению.
	5	Общий сигнала задания.
RES	RES	Сброс.
RL	RL	Низкая скорость.
RM	RM	Средняя скорость.
RH	RH	Высокая скорость.
STR/STF	STR	Пуск в обратном направлении.
	STF	Пуск в прямом направлении.
Векторное/(U/f)	RT	Выбор режима управления.

#### 4.2. Установка режимов управления

##### Установка режима управления U/f

Для корректной работы привода проверьте правильность установки следующих параметров.

Если нет необходимости в переходе от одного режима к другому, то используется только U/f – управление, П:80 и П:81 должны иметь значение 9999. В этом случае режим векторного управления не активен.

Смена режимов управления осуществляется с помощью терминала RT. В этом случае параметры П:80, П:81 должны быть выставлены следующим образом.

П:80 – мощность двигателя – 0,75 (кВт).

П:81 – количество полюсов двигателя – 14.

При установке этого параметра количество полюсов определяет вторая цифра – 4. Значение 14 дает возможность переключения режимов управления через терминал RT.

Следующие параметры выставляются в соответствии с условиями работы

П:1 – верхняя граница частоты – 60Гц.

П:3 – номинальная частота – 50Гц.

П:7 – время разгона – 1 сек.

П:8 – время торможения – 1 сек.

П:9 – номинальный ток – 1,9 А.

П:19 – номинальное напряжение - 380 В.

(Точнее сказать, максимальное напряжение, так как преобразователь не даст напряжение выше значения этого параметра).

Установки скорости, соответствующие кнопкам (терминалам) на панели  
равления

П:180 – определяет функцию входа RL. Значение 0 определяет функцию «низкая скорость».

П:181 – определяет функцию входа RM. Значение 1 определяет функцию «средняя скорость».

П:182 – определяет функцию входа RH. Значение 2 определяет функцию «высокая скорость».

П:183 – определяет функцию входа RT. Значение 18 определяет функцию «рекламация U/f управления – векторное регулирование».

В следующих параметрах задаются непосредственные значения скоростей,  
ответствующие входам RL, RM, RH

П:6 – установка низкой скорости – 10Гц.

П:5 – установка средней скорости – 30Гц.

П:4 – установка высокой скорости – 50Гц.

#### Установка задания частоты с аналогового входа

Для установки начального и конечного значения частоты, задаваемой с аналогового входа, используются параметры:

П:902 – начальное значение частоты – 0Гц.

П:903 – конечное значение частоты – 60Гц.

#### Процедура установки П:903 (П:902).

1. Выберите режим «работы с пульта».
2. Прочитайте значение параметра П:903(П:902).  
Чтение параметра производится кнопкой «SET» .
3. Установите требуемое значение.

Установка «значение» осуществляется кнопками «UP/DOWN».

4. Запишите значение.

Для записи нажмите «SET» и удерживайте более 1,5 секунд до звукового сигнала.

5. На индикатор будет выведена величина задающего напряжения.
6. Подайте конечное (начальное) напряжение.

Поверните резистор на максимум (минимум).

7. Подтвердите значение.

Нажмите «SET» и удерживайте более 1,5 секунд до звукового сигнала.

Таким образом, преобразователь находится в режиме U/f управления без обратной связи по скорости.

#### Установка режима векторного управления

Для активизации режима векторного управления параметры П:80 и П:81 должны иметь значения, отличные от – 9999.

Если в процессе работы необходимо менять режим управления, воспользуйтесь терминалом RT. В этом случае параметры П:80, П:81 должны быть выставлены следующим образом.

П:80 – мощность двигателя – 0,75 кВт.

П:81 – количество полюсов двигателя – 14.

При установке этого параметра количество полюсов определяет вторая цифра – 4. Значение 14 дает возможность переключения режимов управления через терминал RT.

Примечание: Если выбрано векторное управление, значения П:3 и П:19 игнорируются.

П:83 – номинальное напряжение двигателя – 380В.

П:84 – номинальная частота двигателя – 50Гц.

П:71 – тип двигателя – 7 – стандартный двигатель, схема соединения обмоток «звезда», возможна установка констант + самонастройка.

Для нормальной работы привода рекомендуется проводить установку констант. Преобразователь дает возможность воспользоваться самонастройкой.

#### Проведение самонастройки

Помимо вышеупомянутых параметров, в параметре П:96 – выберите вид самонастройки: «самонастройка без вращения» - значение 1; «самонастройка с вращением» - значение 101 (более точное определение параметров).

Процедура проведения самонастройки:

Старт – сигнал STF или STR.

Продолжительность «самонастройки без вращения» 25 сек.,  
«самонастройки с вращением» 45 сек.

Показателем завершения является смена значения параметра П:96: 1 → 3;  
101 → 103.

Чтобы получить доступ к просмотру констант двигателя, в П:77 необходимо записать значение – 801. Для получения возможности изменения констант в П:71 – запишите значение – 4 (возможность чтения и изменения данных самонастройки).

Таким образом, преобразователь находится в режиме векторного управления без обратной связи по скорости.

Примечание: Для нормальной работы преобразователя в режиме векторного управления без обратной связи по скорости П:370 должен иметь значение – 0 В противном случае нормальное регулирование скорости двигателя будет невозможно.

#### 4.3. Введение обратной связи по скорости

##### Введение обратной связи по скорости в режиме управления U/f

Проверьте правильность подключения датчика скорости.

Питание датчика осуществляется внешним источником постоянного напряжения 5В. Питание на источник подается выключателем 1SF3.

Перед установкой параметров преобразователя связанных с опцией обратной связи, убедитесь в правильности установки параметров, относящихся к режиму U/f управления.

1. П:359. Направление вращения датчика (см. рис. 21).

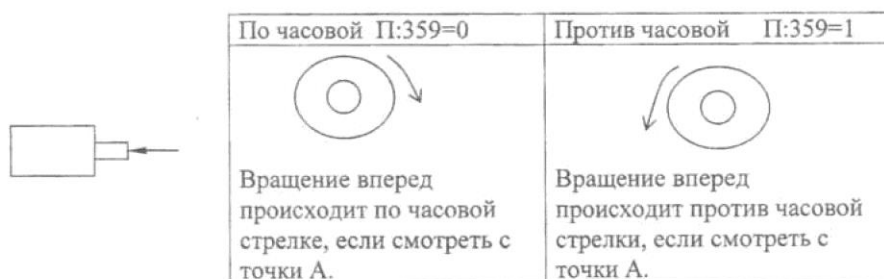


Рис. 21. Направление вращения датчика



Примечание: Когда опция FR-A5AP установлена и выбран режим обратной связи по скорости. Пульт управления показывает направление вращения датчика. Установка должна быть произведена следующим образом, чтобы FWD высвечивалось, когда сигнал STF включен, а REV – когда включен сигнал STR.

П:369 – количество импульсов на оборот датчика – 600.

П:370 – выбор режима управления.

Управление по скорости в режиме U/f управления возможно если в П:370 установлено значение 1 или 2.

Примечание: Векторное управление должно быть не активно (П:80 и П:81 – 9999).

Необходимым условием активизации обратной связи по скорости является наличие в П:367 «диапазона обратной связи по скорости». То есть значение П:367 должно быть отличным от 9999.

Значение этого параметра определяет верхний и нижний предел частоты относительно заданного значения, своеобразный коридор при вхождении в который активизируется обратная связь (см. рис. 22).

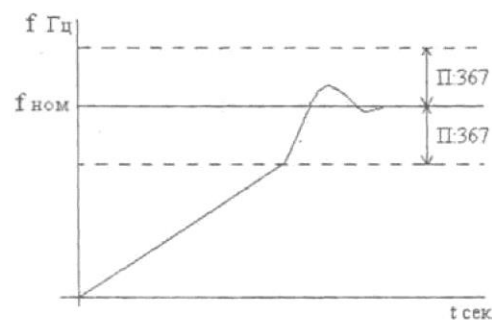


Рис. 22. Влияние на переходной процесс «диапазона регулирования обратной связи по скорости»

П:368 – «коэффициент обратной связи».

П:368 определяет быстродействие системы. С повышением коэффициента увеличивается быстродействие, но возникает вероятность перегрузки по току и повышение неустойчивости вращения.

Введение обратной связи по скорости в режиме векторного управления

Проверьте правильность подключения датчика скорости.

Питание датчика осуществляется внешним источником постоянного напряжения 5В. Питание на источник подается выключателем 1SF3.

Перед установкой параметров преобразователя, связанных с опцией обратной связи, убедитесь в правильности установки параметров, относящихся к режиму векторного управления

П:359. Направление вращения датчика (см. рис. 23).

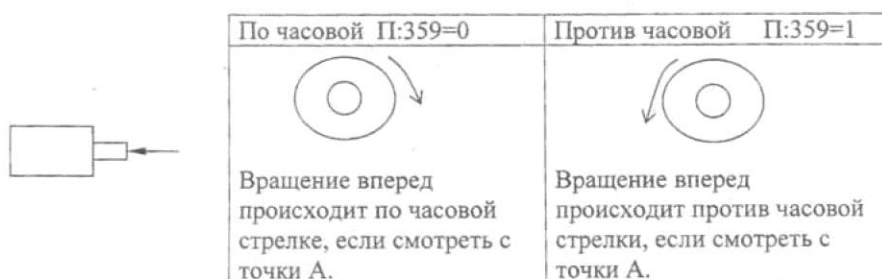


Рис. 23. Направление вращения датчика

Примечание: Когда опция FR-A5AP установлена и выбран режим обратной связи по скорости. Пульт управления показывает направление вращения датчика. Установка должна быть произведена следующим образом, чтобы FWD высвечивалось, когда сигнал STF включен, а REV – когда включен сигнал STR.

П:359 – количество импульсов на оборот датчика – 600.

П:370 – выбор режима управления.

Управление по скорости в режиме векторного управления возможно, если в П:370 установлено значение 1 или 2.

П:370 имеет значение – 1:

При этом возможен контроль нулевой скорости (задание не подано – вал неподвижен и при воздействии на него сохраняет положение).

П:370 имеет значение – 2:

При этом контроль нулевой скорости возможен, также становится возможной дополнительная блокировка (контроль нулевой скорости при не поданных сигналах STR/STF).

Примечание: В режиме векторного управления диапазон обратной связи по скорости П:367 не активен.

*4.4. Настройка преобразователя с использованием персонального компьютера*

Соединение преобразователя частоты ПЧ с компьютером осуществляется через разъем пульта управления и comport компьютера.

Связь преобразователя с компьютером осуществляется с помощью программного обеспечения VFD Setup SW.

При открытии программы вы видите данную картину:

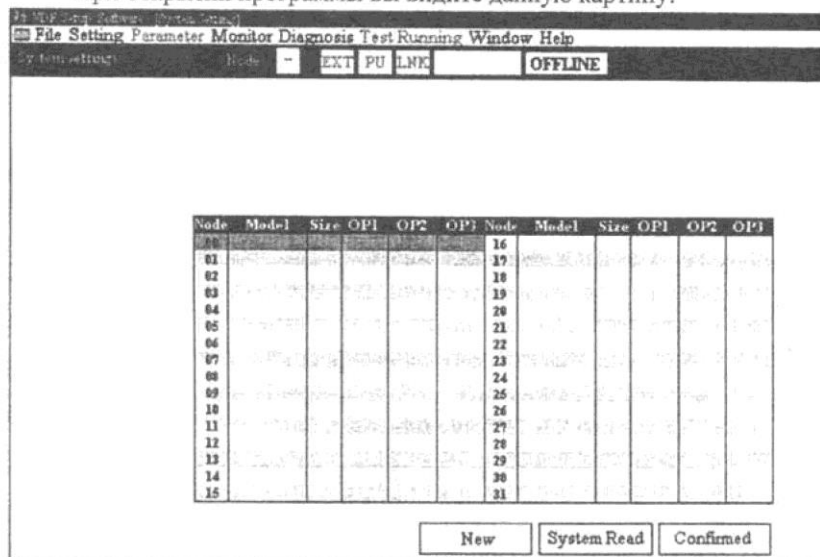


Рис. 24. Внешний вид программы VFD Setup SW

Связь программы с преобразователем устанавливается при переходе в режим "On Line". Для этого нажмите курсором кнопку.



Данное окно отображает количество преобразователей (станций), соединенных с компьютером. Так как в данном случае используется только один преобразователь, параметры связи можно не устанавливать, а принять заводские установки.

Для того чтобы связать компьютер сразу с двумя преобразователями, необходимо использовать два com-порта. Для установки связи через второй comport необходимо сделать соответствующие установки в разделе "Communication settings" в меню "Settings".

При этом появляется окно, содержащее параметры связи.

По умолчанию в разделе comport стоит значение 1, т.е. связь должна осуществляться через первый comport. Установите 2, для связи программы через второй, дополнительный, comport.

Далее, программа должна получить сведения об используемом преобразователе. Это можно сделать тремя способами:

1. Если пользователю не известна ни марка преобразователя, ни используемые в нем опции, программа способна считать эти данные самостоятельно. Для активизации этого процесса нажмите кнопку "System Read".
2. Необходимые для нормальной работы программы, сведения о преобразователе могут быть прописаны пользователем. Для этого дважды нажмите на требуемом номере станции (в данном случае 00):

Здесь: "Model" – марка преобразователя (FRA – A540 – EC); "Size" – его мощность (0,75); далее проставляются используемые дополнительные опции - в данном случае используется только опция обратной связи - A5AP (Plug – in option1 – A5AP). Закончив установки, нажмите «ОК», для принятия данных программой нажмите "Confirmed".

3. Открытие заранее сконфигурированного файла: "File" – "Open" – «имя файла».

#### Установка параметров

С помощью программного обеспечения можно производить установку параметров без использования пульта управления, что заметно упрощает и ускоряет процесс.

Работа с параметрами может осуществляться тремя путями: использовать окно, содержащее все параметры, окно, где параметры разбиты по функциональным группам или же создать свой список необходимых для работы параметров.

Использование окна, содержащего все параметры

Для этого в меню "Parameter" выберите раздел "All list format".

При этом появляется окно, содержащее полный список параметров.

No	Name	Min Setting	Factory	Present	Updated Val
0	Torque boost	0.1%	6		
1	Maximum frequency	0,01Hz	120		
2	Minimum frequency	0,01Hz	0		
3	Base frequency	0,01Hz	50		
4	3 speed setting (high speed)	0,01Hz	60		
5	3 speed setting (middle speed)	0,01Hz	30		
6	3 speed setting (low speed)	0,01Hz	10		

Рис. 25. Окно параметров

Перед началом работы проверьте установку-П:79 (способ управления). Она должна давать возможность смены способа управления «пульт управления»/ «внешние сигналы». Для избежания ошибок при записи и считывании данных, следите за тем, чтобы процесс записи/считывания происходил в режиме «работы с пульта».

Смена способов управления производится кликом курсора на соответствующих функциональных кнопках: "PU" – управление от «пульта управления»; "EXT" – управление внешними сигналами.

Примечание: Переход от одного способа к другому невозможен, если присутствует какой-либо внешний сигнал (например, работает двигатель).

В нижней части окна расположены функциональные кнопки:

"Detail Inf" – описание выделенного параметра.

"Change List" – показывает, изменялся ли параметр.

"Pr. Init" – сброс значений параметров на заводские установки.

"Blk Read" – считать значения всех параметров, записанных в преобразователе.

"Read" – считать значение выделенного параметра.



“Blk Check” – при использовании заранее сконфигурированного файла, сравниваются его данные с данными, записанными в преобразователе.

“Blk Write” – запись значений всех параметров в преобразователь.

“Write” - запись значения выделенного параметра.

Информация предоставляемая о параметре: “NO” – номер параметра; “Name” - наименование; “Min. Setting” – Единицы измерения; “Factory” – заводская установка; “Present” – значение, записанное в данный момент; “Updated Val.” – вводимое значение.

#### Процедура просмотра/записи значений параметров

Для начала работы с параметрами их необходимо считать из преобразователя – “Blk Read”. Или же при использовании собственного файла сравнить данные файла с данными, находящимися в преобразователе.

Установку значений можно проводить, как непосредственно выбирая параметр из списка, так и с помощью окна «быстрого поиска». Оно расположено над общим списком.

Здесь: “Pr. Jmp” – номер параметра; “Updated Val” – вводимое значение.

Строка “Setting range” – диапазон значений параметра.

Запишите новое значение. Нажмите Enter, чтобы значение было принято.

Далее для записи его в преобразователь нажмите “Write”. Изменение значения не будет воспринято приводом, пока не будет записано в преобразователь.

Примечание: запись измененных значений в преобразователь возможна только при поданном на него силовом напряжении.

#### Просмотр данных состояния привода

Программное обеспечение позволяет пользователю получать сведения о состоянии привода такие как, например скорость, ток, ...

Следить за изменением параметров состояния привода можно с помощью раздела “Data display” в меню “Monitor”.

Программа предоставляет возможность для просмотра одновременно четырех величин.

“Display Item” – список предоставляемых для просмотра величин.

Снятие показаний начинается при нажатии кнопки “Start”. При этом текущее значение отображается в окне – “Present Val”, а в окне “Max. Val” – максимальное значение.

“Hold” – останавливает процесс, в окнах остаются значения, определенные в момент нажатия.

#### 4.5. Построение графиков

Данное программное обеспечение позволяет строить тренды (графики) различных величин, с помощью которых можно анализировать работу привода.

В данном обеспечении графики можно получить, используя раздел “Oscilloscopes” в меню “Monitor”.

Окно выглядит следующим образом:

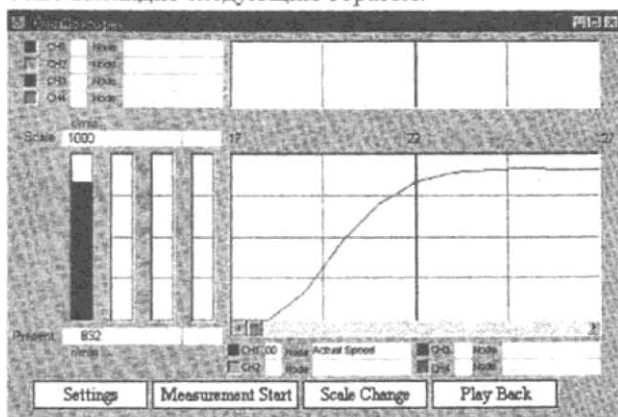


Рис. 26. Построение графиков при помощи VFD Setup SW

“Setting” – выбор требуемой для просмотра величины.

CH1-CH2 – выбор требуемых для просмотра величин.

“Measurement Start” – начало получения программой данных для построения графиков.

Мигание лампочки “Sampling” – означает, что процесс по сбору данных идет.

Нажатие ОК – приведет к остановке процесса и выводу графиков на экран.

Слева от поля графиков находится шкала, показывающая значения величин в конкретных точках. Точки определяются пересечением кривой графика с центральной осевой линией.

“Scale Change” – изменение масштабов осей времени и графиков.

# Лабораторная работа № 4 Исследование механических характеристик асинхронного двигателя.

## 1. Цель работы

Экспериментальное воспроизведение режимов работы АД и построение его механических характеристик по экспериментальным данным.

## 2. Теоретические сведения

Вращающий момент в асинхронном двигателе создается взаимодействием тока ротора с магнитным полем машины. Вращающий момент математически можно выразить через электромагнитную мощность машины:

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_0}, \quad (1)$$

где  $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$  - угловая частота вращения поля статора;  $p$  - число пар полюсов статора машины.

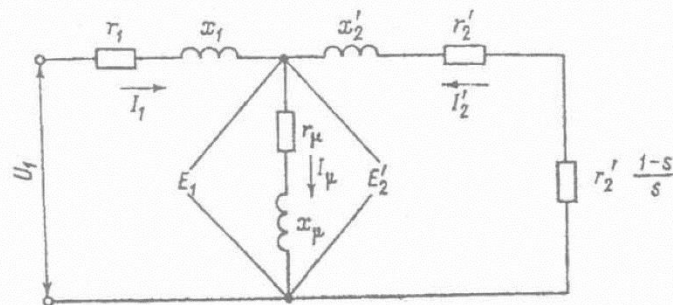


Рис. 1. Т – образная схема замещения фазы АД с приведенными параметрами вторичной цепи к первичной

Используя Т-образную схему замещения фазы АД (рис.1), запишем значение электромагнитной мощности и приведенного тока ротора:

$$P_{эм} = m_1 I_2'^2 r_2' s^{-1}$$

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}, \quad (2)$$

где

$m_1$  – число фаз первичной цепи,

$I_2'$  – приведенный ток ротора,

$r_1, r_2'$  – активные сопротивления статора и ротора соответственно,

$s$  – скольжение,

$U_1$  – фазное напряжение обмотки статора,

$x_1, x_2'$  – индуктивные сопротивления статора и ротора соответственно.

На основании формул (1) и (2), после незначительных преобразований, найдем

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{\omega_0 s \left[ \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}. \quad (3)$$

В последнем выражении (3) для М единственным переменным параметром является скольжение  $s$ . Зависимость  $M=f(s)$  ( $M=f(n)$ ) получило название механической характеристики двигателя (рис.2).

В момент пуска двигателя, когда  $n = 0$ , скольжение  $s = 1$ , пусковой момент АД равен:

$$M_n = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{\omega_0 \left[ (r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}. \quad (4)$$

Под действием момента  $M_n$  ротор придет во вращение. В дальнейшем скольжение будет уменьшаться, а вращающий момент увеличиваться. При

скольжении  $s_k$  он достигает максимального значения  $M_{к.д.}$ . Величина критического скольжения:

$$s_k = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}. \quad (5)$$

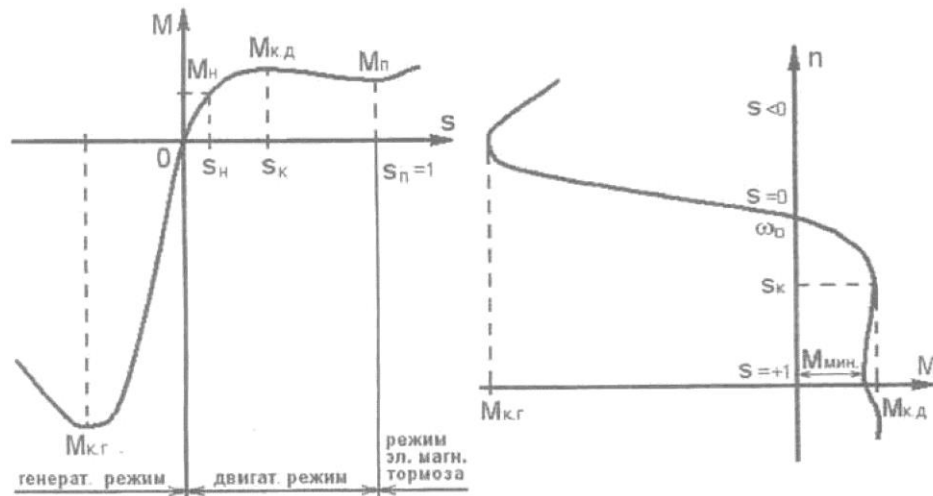


Рис. 2. Механические характеристики асинхронного двигателя

Положительный знак  $s_k$  соответствует двигательному, а отрицательный – генераторному режиму работы машины.

Дальнейший разгон двигателя будет сопровождаться уменьшением скольжения и уменьшением вращающего момента. Равновесие наступит, когда величине вращающего момента будет противостоять тормозной момент, вызванный нагрузкой.

При номинальной нагрузке двигатель развивает номинальный вращающий момент  $M_H$  и имеет номинальное скольжение  $s_H$ .

Физически уменьшение  $M$  при  $s < s_k$  и  $s > s_k$  объясняется следующим. При  $s < s_k$  уменьшение скольжения сопряжено с уменьшением тока и момента

двигателя, а при  $s > s_k$ , хотя и происходит увеличение тока двигателя, но его активная составляющая, обуславливающая электромагнитный момент, не растет, а уменьшается, что приводит к уменьшению момента, развиваемого двигателем.

Отношение максимального момента к номинальному называется перегрузочной способностью двигателя по моменту:

$$\lambda_M = \frac{M_{K\Delta}}{M_{ном}}. \quad (6)$$

Обычно она составляет величину от 1,7 до 2,5.

Отношение пускового момента к номинальному называется кратностью пускового момента:

$$k_{п.м} = \frac{M_n}{M_{ном}}. \quad (7)$$

Эта величина может быть меньше единицы и больше ее. При  $k_{п.м} < 1$  двигатель следует запускать без нагрузки. Двигатель с кратностью  $k_{п.м} > 1$  можно включать в сеть с полной нагрузкой.

Еще одной характеристикой АД является так называемый минимальный момент  $M_{мин}$ . Если нагрузка  $M_c$  будет иметь значение  $M_n > M_c > M_{мин}$ , двигатель не сможет разогнаться до номинальной скорости и будет работать в тяжелом режиме, характеризующемся большими токами в обмотках. На это следует обратить внимание, если АД используется с прямым пуском.

Используя формулы (4) и (5), можно получить иную запись механической характеристики АД, если найти значения его критических моментов в двигательном  $M_{к.д}$  и генераторном  $M_{к.г}$  режимах работы:

$$\begin{aligned} M_{к.д} &= \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_0 \left( \sqrt{r_1^2 + x_{к.з}^2} + r_1 \right)}; \\ M_{к.г} &= - \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_0 \left( \sqrt{r_1^2 + x_{к.з}^2} - r_1 \right)}. \end{aligned} \quad (8)$$



Отношение критических моментов

$$\frac{M_{K,\varepsilon}}{M_{K,0}} = -\frac{\sqrt{r_1^2 + x_{K,3}^2} + r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_{K,3}^2} - r_1} = -\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} = const. \quad (9)$$

Здесь принято часто используемое обозначение:

$$\varepsilon = \frac{\eta}{\sqrt{r_1^2 + x_{K,3}^2}} = \frac{\eta}{r_2'} s_K, \quad (10)$$

Формула (9) показывает, что значение критического момента машины в генераторном режиме может быть существенно больше, чем в двигательном режиме (см. рис. 2).

Для практического использования удобнее иное, чем в формуле (3), выражение механической характеристики АД. Найдем его, используя формулы (3), (5) и (10):

$$M = \frac{2M_{K,0}(1+\varepsilon)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2\varepsilon}. \quad (11)$$

Если пренебречь влиянием активного сопротивления статора, то  $\varepsilon = 0$ , и формула (11) приобретает следующий вид (при  $M_{K,д} = M_{K,г} = M_K$ ):

$$M = \frac{2M_K}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} = \frac{2M_K s_K s}{s^2 + s_K^2}, \quad (12)$$

при этом  $M_{K,д} = M_{K,г} = M_K$ .

Впервые (12) получил М. Kloss, поэтому ее называют формулой Клосса.

Формулы (11) или (12) удобнее для расчетов, чем (3), поскольку не требуют знания параметров двигателя. В этом случае все расчеты производятся по данным каталога. Ввиду того, что  $s_k$  в каталогах не указано, его приходится определять на основе других сведений, например, раскрыв формулу (6):

$$\lambda_M = \frac{M_{K,0}}{M_{ном}} = \frac{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2\varepsilon}{2(1+\varepsilon)}, \quad (13)$$

откуда, решая квадратное уравнение, найдем

$$s_K = s_{ном} \left( \gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1} \right), \quad (14)$$

$$\text{где } \gamma = \lambda_M + (\lambda_M - 1)\varepsilon \quad (15)$$

Приближенное решение уравнения (14) можно получить при коэффициенте  $\varepsilon = 0$ , но лучше определить его значение. Значение  $\varepsilon$  не зависит от величины активной составляющей сопротивления во вторичной цепи машины, поэтому оно остается неизменным для естественной и искусственной механических характеристик. Тогда, используя искусственную характеристику АД, возможно определить значение  $\varepsilon$ , а отсюда и  $s_K$ .

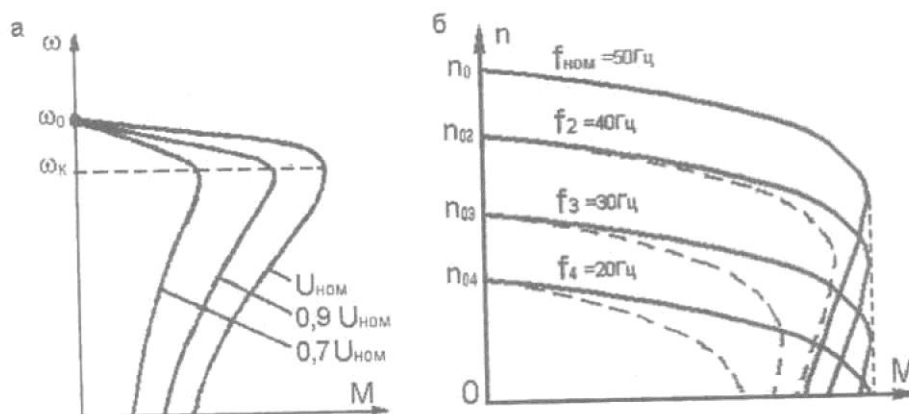


Рис. 3. Механические характеристики АД:

а – при различных напряжениях питания; б – при частотном регулировании

Из соотношения (2) следует, что ток  $I_2'$  пропорционален приложенному напряжению, а момент [см. выражение (3)] его квадрату. Это позволяет построить механические характеристики двигателя при любых напряжениях питания обмоток статора (рис.3, а). Формула (5) подтверждает постоянство

критического скольжения  $s_k$ . Для всех характеристик АД с пониженным напряжением выполняется следующее равенство:

$$\frac{U_1}{U_{ном}} = \sqrt{\frac{M_1}{M_{ном}}} \quad (16)$$

При частотном регулировании скорости (режим  $U/f=\text{const}$ ), уменьшая частоту питания статора от основной  $f_{ном}$  до  $f_2 < f_{ном}$ ,  $f_3 < f_2$  и  $f_4 < f_3$ , механическая характеристика будет сползать вниз (рис.3, б). Теоретически характеристики будут полностью сохранять свой характер, т.е.  $M_{к.л1} = M_{к.л2} = M_{к.л3}$  (рис.3, б сплошные линии). В реальности при уменьшении частоты растет влияние падения напряжения на активном сопротивлении статорной цепи, которое не учитывается при таком управлении. Особенно это заметно в приводах малой мощности. Поэтому при понижении частоты критический момент будет уменьшаться (рис.3, б пунктирные линии).

### 3. Описание лабораторной установки

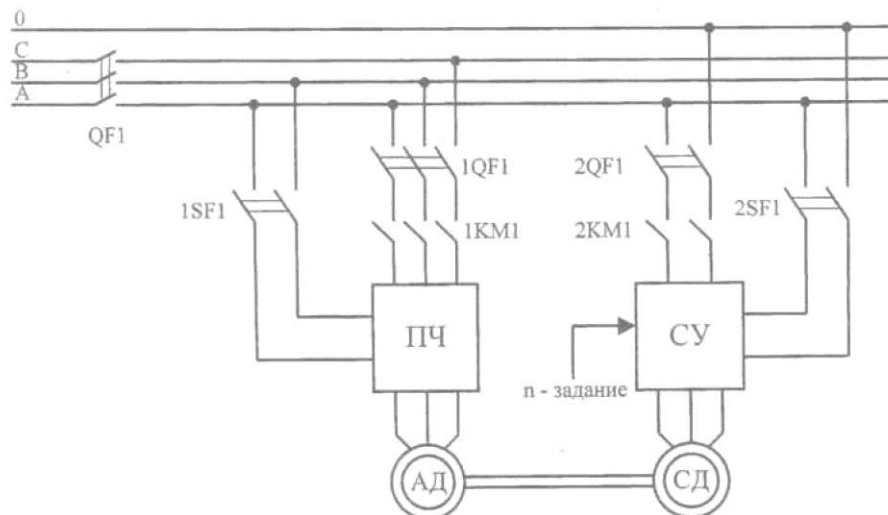


Рис. 4. Упрощенная схема лабораторной установки при снятии механических характеристик

Схема лабораторной установки приведена на рис. 4.

Установка включает в себя следующие основные компоненты:

ПЧ – преобразователь частоты;

СУ – сервоусилитель;

АД – асинхронный двигатель;

СД – серводвигатель;

1SF1, 2SF1 – выключатели цепей управления ПЧ и СУ соответственно;

1QF1, 2QF1 – выключатели силовых цепей ПЧ и СУ соответственно;

1KM1, 2KM1 – защитные контакторы силовых цепей ПЧ и СУ соответственно.

Валы обоих двигателей жестко скреплены через соединительную муфту. Преобразователь частоты дает возможность задавать скорость вращения асинхронного двигателя с помощью изменения выходной частоты. Выходную частоту ПЧ можно задавать плавно с помощью потенциометра (n-задание частоты) или же дискретно, используя кнопки панели управления RL, RM, RH, с заранее установленными на них частотами 30, 40, 50 Гц соответственно (П:6, П:5, П:4). Сервоусилитель позволяет задавать режим работы серводвигателя – режим поддержания момента, режим поддержания скорости и работа по положению. В данной лабораторной работе нам понадобится режим поддержания скорости. Для установки данного режима убедитесь что в параметре П:0 (в программном обеспечении СУ) установлено значение 0303. Затем воспользуйтесь переключателем на панели управления СУ, переведя его в режим n-задание.

Процесс получения механических характеристик состоит в следующем:

- 1) включаем АД на требуемой частоте;
- 2) запускаем СД на какой-то скорости. Для получения характеристик в режиме эл. магнитного тормоза СД должен вращаться в противоположную сторону вращения АД. Для получения характеристик в двигательном и

генераторном режимах направления вращения СД и АД должны совпадать. Когда АД находится в эл. магнитном тормозе и двигательном режимах СД – в генераторном режиме. Для возможности такой работы установлен тормозной резистор;

- 3) определяем момент при данном задании скорость СД;
- 4) изменяем скорость СД и вновь определяем момент.

#### 4. Порядок проведения эксперимента

##### **Подготовка преобразователей**

Включите главный выключатель QF1. Для удобства соедините оба преобразователя с персональным компьютером через COM-порты. Подключите сервоусилитель и преобразователь частоты к сети (см. рис. 4).

Для получения естественной механической характеристики АД питание двигателя должно соответствовать номинальным параметрам ( $U=380$  В;  $f=50$  Гц).

В связи с тем, что данный серводвигатель имеет меньшую мощность, напряжение АД необходимо уменьшить (П:19).

При установке низкой номинальной частоты и одновременном пуске АД на более высокой частоте в ПЧ не происходит регулирование напряжения по закону  $U/f=\text{const}$ . Т.е. если установить номинальную частоту 30 Гц, номинальное напряжение 90 В и осуществлять работу АД на скоростях 30, 40, 50 Гц и т.д., то напряжение останется 90 В.

Присвойте кнопкам RL, RM, RH значения частоты 30, 40, 50 Гц (П:6, П:5, П:4) соответственно.

Кроме вышеперечисленного, должны быть корректно установлены другие параметры, отвечающие за согласованную работу АД и ПЧ, СД и СУ (табл. 1.)

Таблица 1

ПЧ		СУ
П:1=60	П:8=1	П:0=0303
П:3-см. далее	П:9=1,9	П:11=0010
П:4=50	П:19-см. далее	П:12=0010
П:5=40	П:80=0,75	П:19=000Е
П:6=30	П:81=14	П:41=0110
П:7=1	П:370=0	

Система ПЧ-АД должна быть незамкнутой по скорости. Для этого переведите ПЧ в режим управления  $U/f$  и отключите питание датчика скорости (1SF3).

Для построения механической характеристики АД необходимо знать скорость и момент, развиваемые приводом. Просматривать эти параметры позволяет программное обеспечение сервопривода, так как валы двигателей жестко соединены между собой, развиваемые ими моменты и скорости будут равны.

#### Снятие механических характеристик при различных напряжениях питания статора АД

1. Установите в ПЧ номинальную частоту 50 Гц (П:3) и напряжение, при котором надо снять механическую характеристику (П:19 по табл. 2). Включите АД на высокой скорости (50 Гц).

2. Включите СП, воспользовавшись переключателем SON на панели управления. Задавайте направление вращения серводвигателя с помощью ST1/ST2.

3. Плавно изменяя скорость потенциометром на панели управления СП – “n – задание”, записывайте в табл. 2 необходимые данные (для определения

устанавливаемой скорости используйте «Servo motor speed», для определения момента (m) – «Instantaneous torque» или «Effective load ratio»).

4. Повторите эксперимент при различных напряжениях (60 В; 90 В; 120 В).

Замечание: во время работы АД в двигательном режиме сервопривод находится в генераторном, поэтому, индуцируемый сервоусилителем, мгновенный момент будет иметь знак минус. Т.е. полученный момент надо умножить на -1. Для анализа полученных данных момент следует перевести из «% от  $M_{ном.сд}$ » (m) в реальный момент M:

$$M = \frac{m \cdot M_{ном.сд}}{100\%} = 0.013 \cdot m \quad (17)$$

Таблица 2

n, об/мин	f=50Гц					
	U <sub>1</sub> =60 В		U <sub>2</sub> =90 В		U <sub>3</sub> =120 В	
	m, %	M <sub>1</sub> , Нм	m, %	M <sub>2</sub> , Нм	m, %	M <sub>3</sub> , Нм
-500						
-250						
0						
250						
...						
2750						

Примечание. При достижении m 100 % эксперимент следует прекратить.

Приблизительный вид характеристик показан на рис. 5 .



Рис. 5. Механические характеристики при различных напряжения статора АД

Снятие механических характеристик без использования каких-либо законов управления

1. Установите в ПЧ напряжение 90В (П:19), номинальную частоту 30 Гц (П:3). Включите АД на требуемой частоте (30 Гц, 40 Гц, 50 Гц, 60 Гц).
2. Включите СП, воспользовавшись переключателем SON на панели управления. Задавайте направление вращения серводвигателя с помощью ST1/ST2.
3. Плавное изменяя скорость потенциометром на панели управления СП – “n – задание”, записывайте в табл. 3 необходимые данные.

Таблица 3

n, об/мин	f <sub>1</sub> =30Гц		f <sub>2</sub> =40Гц		f <sub>3</sub> =50Гц		f <sub>4</sub> =60Гц	
	m, %	M <sub>1</sub> , Нм	m, %	M <sub>2</sub> , Нм	m, %	M <sub>3</sub> , Нм	m, %	M <sub>4</sub> , Нм
-500					из предыдущего опыта			
-250								
...								
1500								

Примечание. Необходимо снять данные для построения механических характеристик в двигательном режиме и режиме электромагнитного тормоза. Убедитесь, что на различных частотах напряжение питания АД остается постоянным и равным 90В.

Приблизительный вид характеристик показан на рис. 6. Как видно из графиков, увеличивая частоту от 30 до 60 Гц критический момент на механических характеристиках становится меньше. Это объясняется тем, что задавая большую частоту работы АД увеличивается индуктивное сопротивление в статоре АД, при этом напряжение остается постоянным. Следовательно, уменьшается ток, что приводит к уменьшению критического момента.



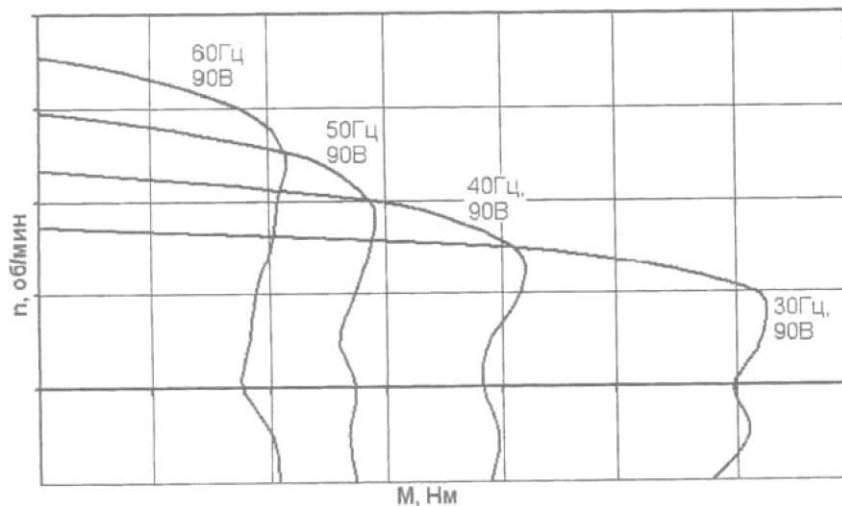


Рис. 6. Механические характеристики без использования законов управления

Механические характеристики при частотном регулировании и законе управления  $U/f=\text{const}$

1. Установите в ПЧ напряжение 90В (П:19) и номинальную частоту 50 Гц (П:3). Выберите тип характеристики (П:14): 0 – для нагрузки с постоянным моментом (конвейеры, станки); 1 – для нагрузки с переменным моментом (насосы, вентиляторы). Включите АД на требуемой частоте (20 Гц, 30 Гц, 40 Гц, 50 Гц). В данном случае, изменяя частоту включения АД, будет изменяться и напряжение, подаваемое на двигатель в соответствии с законом управления  $U/f$ .
2. Включите СП, воспользовавшись переключателем SON на панели управления. Задавайте направление вращения серводвигателя с помощью ST1/ST2.
3. Плавно изменяя скорость потенциометром на панели управления СП – “ $n$  – задание”, записывайте в табл. 4, 5 необходимые данные.
4. Повторите эксперимент при другом типе характеристики (П:14).

Таблица 4 (П:14=0)

n, об/мин	f <sub>1</sub> =20Гц		f <sub>2</sub> =30Гц		f <sub>3</sub> =40Гц		f <sub>4</sub> =50Гц	
	m, %	M <sub>1</sub> , Нм	m, %	M <sub>2</sub> , Нм	m, %	M <sub>3</sub> , Нм	m, %	M <sub>4</sub> , Нм
-500							из предыдущего опыта	
-250								
...								
1750								

Таблица 5 (П:14=1)

n, об/мин	f <sub>1</sub> =20Гц		f <sub>2</sub> =30Гц		f <sub>3</sub> =40Гц		f <sub>4</sub> =50Гц	
	m, %	M <sub>1</sub> , Нм	m, %	M <sub>2</sub> , Нм	m, %	M <sub>3</sub> , Нм	m, %	M <sub>4</sub> , Нм
-500							из предыдущего опыта	
-250								
...								
1750								

Примечание. Необходимо снять данные для построения механических характеристик в двигательном режиме и режиме электромагнитного тормоза. Убедитесь, что на различных частотах напряжение питания АД изменяется. Снимая характеристики следите чтобы момент не выходил за допустимый предел ( $m \leq 100\%$ ).

Приблизительный вид характеристик показан на рис. 7,8. Как видно из графиков, в режиме управления  $U/f=\text{const}$  и работе АД на нагрузку с постоянным моментом, при изменении частоты работы двигателя критический момент практически остается постоянным. При работе АД на вентиляторную нагрузку критический момент увеличивается с увеличением частоты работы двигателя. Это делается потому, что вентиляторная нагрузка не постоянна, а увеличивается с

ростом скорости. Следовательно, нет необходимости на низких скоростях поддерживать высокий критический момент.

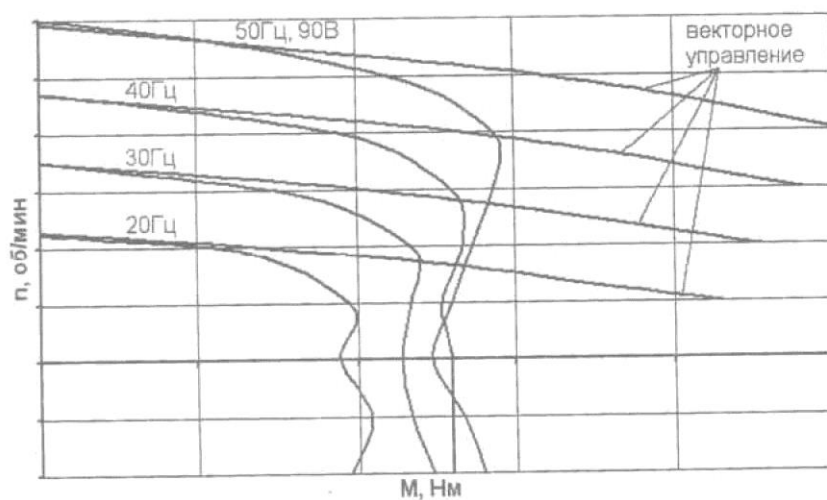


Рис. 7. Механические характеристики АД с постоянной нагрузкой

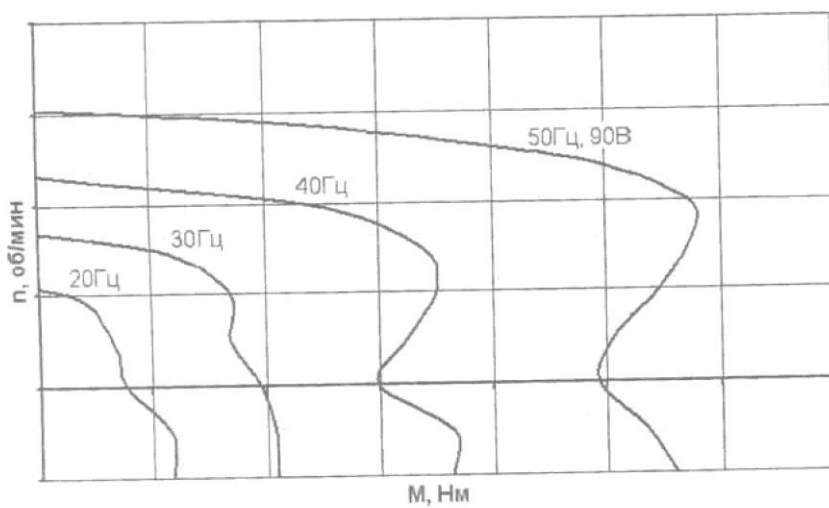


Рис. 8. Механические характеристики АД при вентиляторной нагрузке

Механические характеристики при частотном регулировании и векторном законе управления

1. Переведите ПЧ в режим векторного управления. Установите номинальное напряжение 90 В (П:83) и номинальную частоту 50 Гц (П:3). Датчик скорости должен быть отключен. Проведите самонастройку. Включите АД на требуемой частоте (20 Гц, 30 Гц, 40 Гц, 50 Гц).

2. Включите СП.

3. Плавно изменяя скорость потенциометром на панели управления СП – “п – задание”, записывайте в табл. 6 необходимые данные.

Таблица 6

n, об/мин	f <sub>1</sub> =20Гц		f <sub>2</sub> =30Гц		f <sub>3</sub> =40Гц		f <sub>4</sub> =50Гц	
	m, %	M <sub>1</sub> , Нм	m, %	M <sub>2</sub> , Нм	m, %	M <sub>3</sub> , Нм	m, %	M <sub>4</sub> , Нм
250			—	—	—	—	—	—
500					—	—	—	—
750							—	—
1000	—	—						
1250	—	—	—	—				
1500	—	—	—	—	—	—		

Примечание. Необходимо снять данные для построения механических характеристик в двигательном режиме. Снимая характеристики при векторном управлении следите чтобы момент не выходил за допустимый предел ( $m \leq 100\%$ ).

Приблизительный вид характеристик показан на рис. 7. Как и следовало ожидать, в режиме векторного управления критического момента как такового не существует. Благодаря этому диапазон регулирования скорости увеличился. В этом режиме жесткость характеристик заметно лучше по сравнению с  $U/f = \text{const}$ .

## 5. Обработка результатов опыта

На основании проделанных опытов постройте следующие графики:

- 1) семейство характеристик при различных напряжениях питания статора АД (табл. 2);
- 2) семейство характеристик без использования каких-либо законов управления (табл. 3);
- 3) семейство характеристик АД при частотном управлении:
  - при постоянной нагрузке ( $P:14=0$ ). На этом же графике характеристики при векторном управлении (табл. 4, табл. 6);
  - при вентиляторной нагрузке ( $P:14=1$ ) (табл. 5).

Проанализируйте теоретические и опытные механические характеристики при понижении напряжения и частоты.

Таблица 7

$P_{ном},$ кВт	$n_{ном},$ об/мин	$U_{ном},$ В	$s, \%$	КПД, %	$\cos\varphi$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{к.д}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{I_n}{I_{ном}}$
0,75	1350	380	10	73	0,73	2,2	2,2	1,6	5

Зная паспортные данные двигателя (табл. 7) и воспользовавшись формулой Клосса (11) и (12), постройте искусственные механические характеристики при 50 Гц и 60 В (90 В):

- а) при  $\varepsilon = 0$ ;
- б) при  $\varepsilon \neq 0$  (найдите  $\varepsilon$ , используя формулу (9), заранее определив отношение критических моментов по искусственной механической характеристике).

На этом же графике приведите экспериментальную характеристику.

Примечание. Для определения критического момента в двигательном режиме воспользуйтесь формулой (16).

$$M_{к.д} = \left( \frac{U_1}{U_{ном}} \right)^2 \cdot M_{ном} = \left( \frac{U_1}{U_{ном}} \right)^2 \cdot \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}$$

Для определения критического скольжения – формулой (14).

#### 6. Содержание отчета

1. Тема.
2. Цель.
3. Упрощенная схема установки.
4. Данные внесенные в таблицы 1 – 5.
5. Графики механических характеристик.
6. Вывод по проделанной работе.

#### 7. Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение пускового реостата в АД с фазным ротором?
2. Объясните, чем вызвана необходимость пуска двигателя при пониженном напряжении.
3. Как зависят пусковой ток и пусковой момент двигателя от напряжения?
4. Механическая характеристика АД, ее уравнение и графики.
5. Почему изменяется скольжение асинхронного двигателя с изменением нагрузки?
6. Почему с увеличением нагрузочного момента увеличивается ток, потребляемый двигателем из сети?
7. В каких пределах меняется скольжение АД в режиме генератора, в режиме тормоза?
8. Какие методы регулирования частоты вращения АД вам известны?

## Лабораторная работа № 5 Исследование статических характеристик ПЧ при различных законах управления.

### 1. Цель работы

Исследование законов изменения выходных параметров ПЧ –  $U$ ;  $f$ ;  $I$ ;  $n$  – привода при различных законах управления: скалярного ( $U/f$ ) и векторного управления, как с использованием обратной связи по скорости, так и без нее.

### 2. Теоретические сведения

Скалярная система управления отличается относительно простым алгоритмом, но управление моментом двигателя осуществляется только по амплитуде без контроля фазы силового сигнала управления (тока, потокосцепления). Поэтому системы скалярного управления наиболее приемлемы для электроприводов, не предъявляющих жестких требований к электромагнитным и механическим переходным процессам, то есть для электроприводов, работающих преимущественно в квазистационарных режимах. Как правило, простейшие системы скалярного управления разомкнуты. Для введения компенсации падения напряжения на активном сопротивлении якорной цепи ( $IR$  – компенсации) и повышения точности регулирования скорости системы скалярного управления строятся замкнутыми по потокосцеплению или с обратной связью по скорости.

Для электроприводов и механизмов, предъявляющих жесткие требования к динамическим, электромагнитным и электромеханическим переходным процессам созданы и используются системы векторного управления, в которых управление осуществляется как изменением амплитуды напряжения и потока двигателя, так и контролем регулирования и управления фазового сдвига этих величин.

В преобразователях частоты реализуются алгоритмы скалярного и векторного управления, как с датчиком скорости, так и без него. В тех случаях, когда к электроприводу не предъявляются жесткие требования по поддержанию выходных характеристик, можно использовать простые и, следовательно, имеющие меньшую стоимость серии преобразователей, не требующие применения датчика обратной связи по скорости, настроенные на работу со стандартными электродвигателями и реализующие алгоритм  $\frac{U_s^*}{f_s^*} = const$

с IR – компенсацией и компенсацией скольжения. При использовании таких преобразователей обеспечивается диапазон регулирования 1:20. Для расширения диапазона регулирования и увеличения качества выходных характеристик можно рекомендовать дополнить алгоритм управления  $\frac{U_s^*}{f_s^*} = const$  введением обратной связи по скорости от цифрового или аналогового датчика. При необходимости расширить диапазон регулирования до 1:100 применяются алгоритмы векторного управления без датчика скорости. Применение векторного управления с импульсным датчиком скорости позволяет получить диапазон регулирования 1:1000 при высоких динамических свойствах системы электропривода. При этом перегрузочная способность в диапазоне от максимальной частоты до 0,1 Гц поддерживается постоянной. Обеспечивается поддержание момента при скорости равной нулю, благодаря чему электропривод может использоваться в системах управления положением.

Принцип реализации скалярного способа управления определяется тем, что скорость вращения магнитного поля статора  $\omega_0$  пропорциональна частоте источника питания  $f$ . При частотном управлении значение электромагнитного момента зависит от частоты и напряжения переменного тока, прикладываемого к статору машины. Поэтому наличие двух независимых каналов управления дает



возможность реализовать в системах «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ – АД) оптимальное по выбранному критерию управление.

Виды нагрузки определяют различные формы взаимосвязанного управления напряжением и частотой.

При постоянном моменте нагрузки  $M=\text{const}$ :  $\frac{U_s}{f_s} = \text{const}$  .

При постоянной мощности  $P=\text{const}$ :  $\frac{U_s}{\sqrt{f_s}} = \text{const}$  .

При «вентиляторной» нагрузке:  $\frac{U_s}{f_s^2} = \text{const}$  .

Но в законе управления  $\frac{U_s}{f_s} = \text{const}$  не учитываются потери в меди статора электродвигателя при изменении нагрузки. Поэтому необходимо учитывать потери на активном сопротивлении статора, которое зависит от частоты питающей сети – «IR-компенсация».

Рассмотренные системы электропривода со скалярным управлением обеспечивают поддержание постоянства потокосцепления статора или ротора в статике, т.е. обеспечивают постоянство перегрузочной способности электропривода независимо от частоты напряжения источника питания. Вместе с тем, поскольку в асинхронном электродвигателе отсутствует отдельный канал регулирования потока, потокосцепление статора и ротора при переходных процессах не остаются постоянными, что отрицательно сказывается на динамике электропривода, и там, где требуется высокое быстродействие, снижается его конкурентоспособность по сравнению с электроприводом постоянного тока. Это принципиальный недостаток устраняется в системах векторного управления, называемых также системами с ориентированием поля электродвигателя.

При синтезе системы управления машиной переменного тока необходимо организовать управление по переменным составляющим: вектору тока статора  $\bar{I}_s$ , вектору тока ротора  $\bar{I}_r$ , потокосцеплению статора  $\bar{\Psi}_s$ , потокосцеплению ротора  $\bar{\Psi}_r$ , либо по главному потокосцеплению двигателя  $\bar{\Psi}_0 = L_m(\bar{I}_s - \bar{I}_r)$ . Базовым элементом такой системы является преобразователь координат, с помощью которого осуществляется преобразование сигналов, пропорциональных переменным состояниям  $(\bar{I}_s, \bar{I}_r, \bar{\Psi}_s, \bar{\Psi}_r, \bar{\Psi}_0)$  из системы координат, жестко связанной со статором  $(\alpha - \beta)$  или ротором  $(d - q)$ , во вращающуюся систему координат (1-2) в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} I_{s1} &= I_{\alpha(d)} \cos \varphi + I_{\beta(q)} \sin \varphi, \\ I_{s2} &= -I_{\alpha(d)} \sin \varphi + I_{\beta(q)} \cos \varphi, \end{aligned}$$

где  $\varphi$  - угол, отсчитываемый от оси  $\alpha(d)$  до вектора  $I$ .

Составляющие  $I_{s1}, I_{s2}$  в системе координат (1-2) получаются в виде сигналов постоянного тока. По этим сигналам может быть организована система подчиненного управления моментом и потоком двигателя. Если в системе регулирования с помощью быстродействующих токовых контуров формировать непосредственно сигналы тока статора, то получаем аналогию в управлении с двигателем постоянного тока.

Улучшение динамических свойств электропривода переменного тока при векторном управлении является результатом того, что в переходных процессах можно поддерживать постоянство потокосцепления ротора. Поэтому электромагнитный момент меняется так быстро, как быстро меняется составляющая тока статора  $I_{s\beta}$  (аналогично с тем, как меняется электромагнитный момент с изменением тока якоря  $I_a$  в машине постоянного тока).

В преобразователях частоты структура регулирования реализуется программным обеспечением.

Принцип подчиненного регулирования заключается в том, что организуются контуры регулирования таким образом, чтобы значение с выхода регулятора внешнего контура являлось заданием для внутреннего контура. Внутренний контур регулирования должен обладать большим быстродействием по сравнению с внешним контуром регулирования. Тем самым суммарная постоянная времени внутреннего контура должна быть по значению меньше суммарной постоянной времени внешнего контура регулирования.

На рис.9 изображена механическая характеристика АД при скалярном и векторном управлении с обратной связью по скорости и без обратной связи по скорости при различных частотах.

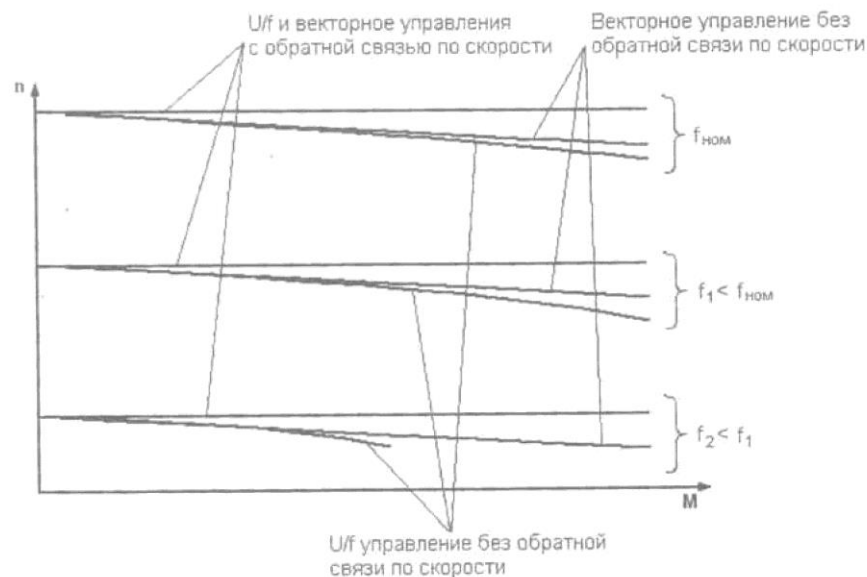


Рис. 9. Механические характеристики АД

Из рис.9 видно, что жесткость механической характеристики без обратной связи по скорости при векторном управлении выше, чем при  $U/f$  управлении. При введении обратной связи по скорости скорость постоянна при любом управлении.

На рис. 10 изображены характеристики  $U=F(M)$  в разомкнутой и замкнуто системах при различных законах управления.

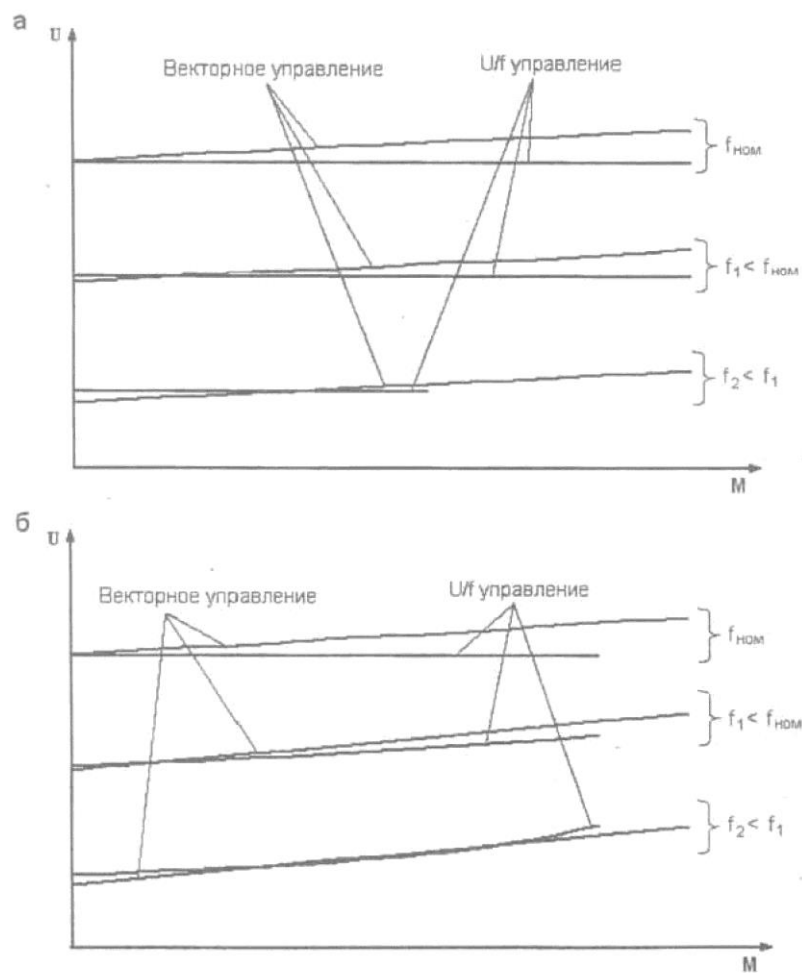


Рис.10. Графики зависимости  $U=F(M)$ :

а – без обратной связи по скорости; б – с обратной связью по скорости

Из графиков а и б рис.10 видно, что без обратной связи при скалярном управлении напряжение остается постоянным, а в режиме векторного управления напряжение растет с увеличением момента. При введении обратной связи по скорости в режиме управления U/f напряжение растет при увеличении момента, а в режиме векторного управления напряжение так же растет, но крутизна у характеристики больше, чем у разомкнутой системы.

На рис.11 изображены графики зависимости  $f=F(M)$  при скалярном и векторном управлении с обратной связью по скорости и без обратной связи по скорости при различных частотах.

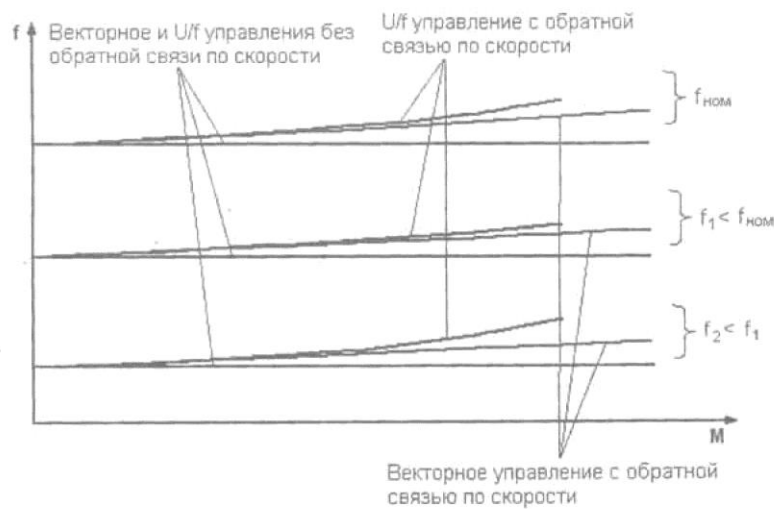


Рис.11. Графики зависимости  $f=F(M)$

Из рис.11 видно, что в разомкнутой системе во всех режимах управления с увеличением нагрузки частота ПЧ не меняется. Введение обратной связи по скорости привело к изменению характера зависимости, с увеличением нагрузки частота ПЧ растет.

1KM1, 2KM1 – защитные контакторы силовых цепей ПЧ и СУ соответственно;

ISF3 – выключатель питания опции обратной связи.

Валы обоих двигателей жестко скреплены через соединительную муфту. Преобразователь частоты дает возможность задавать скорость вращения асинхронного двигателя с помощью изменения выходной частоты. Выходную частоту ПЧ можно задавать плавно, с помощью потенциометра (n-задание частоты) или же дискретно, используя кнопки панели управления RL, RM, RH, с заранее установленными на них частотами 10, 30, 50 Гц соответственно (П:6, П:5, П:4). Сервоусилитель позволяет задавать режим работы серводвигателя – режим поддержания момента, режим поддержания скорости и работа по положению. В данной лабораторной работе нам понадобится режим поддержания скорости. Для установки данного режима убедитесь что в параметре П:0 (в программном обеспечении СУ) установлено значение 0303.

#### 4. Порядок проведения эксперимента

##### Подготовка преобразователей

В табл. 8 представлены основные параметры, используемые в лабораторной работе.

Таблица 8

ПЧ			СУ
П:1=60	П:8=1	П:3=50	П:0=0303
П:9=2	П:4=10	П:19-см. далее	П:11=0010
П:5=30	П:80=0,75	П:6=50	П:12=0010
П:81=14	П:7=1	П:370=0	П:19=000E
П:22=200	П:83-см. далее		П:41=0110

СП необходимо перевести в режим поддержания момента. Это осуществляется переключателем на панели управления “n/M” – режим управления. Значение момента задается потенциометром “M”.

Примечание. Когда СП находится в режиме поддержания скорости при вращении АД «вперед» и СД «вперед» двигатели вращаются в одну сторону, а в режиме поддержания момента при таком же вращении двигателей они вращаются в разные стороны. В данной работе двигатели должны вращаться «вперед»-«вперед».

Заводская установка максимального задания потенциометра –  $M_{\max} = 3,8 \text{ Нм}$ . Необходимо учесть, что максимальный момент СП может поддерживать только в течение некоторого времени. Установка максимального значения, задаваемого потенциометром определяется параметром П:26.

Во время проведения экспериментов необходимо менять значения напряжения, частоты и режимов работы ПЧ.

Напряжение определяется установкой параметра П:19.

Смена режимов работы ПЧ осуществляется переключателем на панели управления «Векторное / U/f».

Выходную частоту ПЧ можно задавать плавно, с помощью потенциометра (п – задание) или же дискретно, используя кнопки панели управления RL; RM; RH, с заранее установленными на них частотами (П:6 – RL; П:5 – RM; П:4 – RH).

Изменение значений исследуемых величин можно наблюдать с помощью, либо пульта управления ПЧ, либо персонального компьютера, используя программное обеспечение. Показание скорости можно также снимать с пульта управления сервоусилителя (СУ).

Подключите ПЧ и СУ к сети.

1. Получение характеристик без обратной связи по скорости АД.

- Получение зависимости  $U=F(f)$ .

Установите в ПЧ  $U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$  – П:19 и  $f_{\text{ном}}=50 \text{ Гц}$ . Эти данные соответствуют заводской установке кнопки на панели управления RH.

Переведите ПЧ в режим управления U/f. Данный эксперимент проводится без использования СП.



Далее, плавно увеличивая потенциометром «n» частоту, записывайте значения напряжений и задаваемых частот в табл. 9 (значений 6).

Переведите ПЧ в режим векторного управления и повторите опыт.

Результаты сводятся в табл. 9.

Таблица 9

№	U/f - управление		Векторное управление	
	f, Гц	U, В	f, Гц	U, В
1				
2				
3				
4				
5				
6				

- Получение зависимостей  $n=F(M)$ ;  $I=F(M)$ ;  $f=F(M)$ ;  $U=F(M)$ .

Для того, чтобы иметь возможность исследовать данные характеристики на большем диапазоне механической характеристики, установите в ПЧ  $U_{ном}=180$  В – П:19 (для скалярного управления) и так как П:19 игнорируется при векторном управлении, то для векторного управления установите  $U_{ном}=180$  В – П:83. Не меняйте эти параметры в течение всей работы.

Примечание. После изменения П:83 необходимо произвести самонастройку ПЧ.

Эксперимент проводится при различных скоростях АД ( т.е. при различных заданиях частоты). Частота задается дискретно, используя кнопки панели управления RL; RM; RH, с заранее установленными на них частотами (П:6 – RL; П:5 – RM; П:4 – RH). Значения частот определяются заводскими установками, соответственно 10; 30; 50 Гц.

Так как в режиме поддержания момента потенциометр «n» не игнорируется, то с помощью него нужно установить скорость СД 1500 об/мин, скорость на СД устанавливается без включения АД. В течение всей

работы потенциометр «п» больше не используется, скорость СД всегда 1500 об/мин.

Переведите ПЧ в режим управления U/f. Установите требуемую частоту. Далее, плавно увеличивая потенциометром “М” момент сопротивления, создаваемый СП, записывайте в табл. 10 значения тока, скорости, частоты и напряжения. Значения М и п снимаются с помощью программного обеспечения СП, а f, I и U с помощью программного обеспечения ПЧ.

Таблица 10

Скалярное управление без обратной связи по скорости						
RL	m, %	n, об/мин	f, Гц	I, А	U, В	M, Нм
RL=10Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
RM=30Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					
RM=50Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					

При скалярном управлении при частоте 10Гц и напряжении 180 В  
 $M_{крАД} = 1,17 \text{ Нм} = 90 \% \text{ от } M_{номСД}$ .

Переведите ПЧ в режим векторного управления и повторите опыт.  
 Результаты запишите в табл. 11.

Таблица 11

Векторное управление без обратной связи по скорости						
RL	m %	n, об/мин	f, Гц	I, А	U, В	M, Нм
RL=10Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					
RM=30Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					
RM=50Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					

M в Нм выводится из m в % от  $M_{номСД}$  по формуле  $M = \frac{m\% \cdot M_{номСД}}{100\%}$ ,

где  $M_{номСД}=1,3 \text{ Нм}$ ;

$m$  –  $M$  % от  $M_{номСД}$ .

## 2. Получение характеристик с введением обратной связи по скорости

( $I = F(M)$ ;  $f = F(M)$ ;  $U = F(M)$ ).

Установите в ПЧ  $U_{ном}=180 \text{ В}$  – П:19 и  $U_{ном}=180 \text{ В}$  – П:8. Эксперимент проводится при различных частотах, задаваемых дискретно, помощью кнопок панели управления RL; RM; RH, с заранее установленными на них частотами (П:6 – RL; П:5 – RM; П:4 – RH).

Установите скорость на СД 1500 об/мин, как это описано предыдущей части этой лабораторной работы.

Переведите ПЧ в режим управления U/f. Установите требуемую частоту.

Далее, плавно увеличивая потенциометром “М” момент сопротивления, создаваемый СП, записывайте в табл. 12 значения частоты тока и напряжения. Переведите ПЧ в режим векторного управления повторите опыт, записывая значения в табл. 13.

Таблица 12

Скалярное управление с обратной связью по скорости						
RL	m %	n, об/мин	f, Гц	I, А	U, В	M, Нм
1	2	3	4	5	6	7
RL=10Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					

Окончание табл. 12

1	2	3	4	5	6	7
RM=30Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					
RH=50Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					

Таблица 13

Скалярное управление с обратной связью по скорости						
RL	m %	n, об/мин	f, Гц	I, А	U, В	M, Нм
1	2	3	4	5	6	7
RL=10Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					

Окончание табл. 13

1	2	3	4	5	6	7
RM=30Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					
RH=50Гц						
1	0					
2	20					
3	40					
4	60					
5	80					
6	100					
7	120					
8	140					

**5. Содержание отчета**

1. Результаты экспериментальных исследований табл. 9, 10, 11, 12, 13.
2. График зависимости  $U=F(f)$ , построенный по табл. 9.
3. Графики  $p=F(M)$ ;  $I=F(M)$ ;  $f=F(M)$ ;  $U=F(M)$ , построенные по табл. 10, 11, 12, 13.
4. Выводы к каждому графику.

**6. Вопросы для самопроверки**

1. Какие особенности у систем со скалярным управлением?
2. Какие особенности у систем с векторным управлением?
3. Когда используются системы с векторным управлением?
4. Какие преимущества у систем с векторным управлением перед системами со скалярным управлением?

**Максимальный балл за лабораторные работы составляет 32, минимальный балл 25.**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический (институт) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий  
Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки **13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**  
Программа подготовки **«Инновационные технологии в электрохозяйстве  
нефтехимических предприятий»**

**Темы групповых творческих задач для практических работ по  
дисциплине**

По дисциплине **«Микропроцессорные системы управления энергетическими  
объектами»**  
(для очного и очно-заочного отделений)

***Цель работы:***

Изучение структуры и функций промышленного контроллера System Q фирмы  
«Mitsubishi Electric и основ его программирования

**Тема №1. Основы языка контактно-релейных схем**

Задачи, приведенные в данном разделе, направлены на закрепление навыков  
составления алгоритмов с использованием языка релейно-контакторных схем (РКС).

***\*Задача № 1. Управление звонком***

При нажатии кнопки «СИГНАЛ» (X01) должен включаться звонок (Y01). При  
отпускании кнопки звонок должен выключиться.

***\*Задача № 2. Управление вентилятором при помощи двух кнопок***

При нажатии кнопки «СТАРТ» X01 должен запускаться двигатель вентилятора Y01.  
Вращение вала двигателя продолжается до нажатия кнопки «СТОП» X02. Кнопки  
«СТАРТ» и «СТОП» не имеют механизма самофиксации.

***\*Задача № 3. Управление толкателем***

Два фотодиода расположены вертикально один под другим: верхний фотодиод X01,  
нижний фотодиод X02. Фотодиоды расположены так, что можно проверить, находится ли  
бутылка на конвейере в вертикальном положении. Если бутылка находится в другом  
положении (не вертикально), луч верхнего фотодиода не будет прерван, а луч нижнего  
фотодиода будет пересечен бутылкой. В этом случае необходимо активизировать  
толкатель Y01 и убрать эту бутылку с конвейера.

***\*Задача № 4. Управление механизмом штамповки маркировки***

Коробка перемещается по конвейеру. В процессе своего движения она  
последовательно пересекает лучи двух фотодиодов X01 и X02. Если коробка пересечет  
лучи обоих фотодиодов, должен быть включен механизм штамповки маркировки Y01.

***\*Задача №5. Упрощение воротами***

Необходимо включить систему, открывающую ворота Y01, если нажаты обе кнопки  
открытия X01. X02 или, если сработала пожарная сигнализация X03.

***\*Задача №6. Регулировка уровня жидкости в бочке***

Уровень воды в бочке контролируется поплавковым датчиком уровня Х01 с гистерезисной характеристикой срабатывания. Если уровень опускается ниже допустимого, нормально разомкнутый контакт датчика замыкается, при этом необходимо включить насос Y01, который используется для перекачки воды в бочку.

***\*\*Задача №7. Управление конвейером***

Тумблер «ЗАПУСК/ОСТАНОВ» Х01 должен управлять работой конвейера, запуская и останавливая его. Сигнал аварийной защиты двигателя Х02 должен блокировать работу конвейера. Сигнал на запуск конвейера должен поступать с выхода Y01. Аварийная сигнализация (лампа и сирена) подключается к выходу Y02. При срабатывании аварийной защиты двигателя на этом выходе должен формироваться непрерывный сигнал. Выключение аварийной сигнализации должно осуществляться путем выключения тумблера «ЗАПУСК/ОСТАНОВ».

***\*\*Задача № 8. Управление движением на автостоянке***

Машина, приближаясь к въезду на платную стоянку, активизирует датчик приближения Х01. При выезде со стоянки машина активизирует датчик приближения Х02. По сигналу от датчика приближения Х01 должна загораться лампа, разрешающая въезд Y01. По сигналу от датчика приближения Х02 должна загораться лампа, разрешающая выезд Y02. Если одна машина пытается въехать на стоянку, а другая машина пытается выехать со стоянки, то должна загораться разрешающая лампа для машины, подъехавшей раньше.

***\*\*Задача №9. Автоматическая регулировка уровня воды в баке***

Нижний уровень воды в баке контролируется поплавковым датчиком уровня Х01. Верхний уровень воды контролируется поплавковым датчиком уровня Х02.

Если уровень воды в баке превысит максимально допустимый, то замкнется контакт поплавкового датчика максимального уровня Х02. При этом необходимо включить насос Y01, который выкачивает воду из бака. Как только уровень воды опустится до минимально допустимого значения, разомкнется контакт поплавкового датчика минимального уровня, насос Y01 при этом необходимо выключить.

***\*\*Задача №10. Управление освещением***

При первом нажатии на кнопку «ВКЛ/ВЫКЛ» Х01, лампа Y01 должна загореться. При повторном нажатии на кнопку «ВКЛ/ВЫКЛ», лампа должна погаснуть. Кнопка «ВКЛ/ВЫКЛ» не снабжена механизмом самофиксации.

**Тема №2. Счётчики и таймеры**

Задачи, приведенные в данном разделе, направлены на закрепление навыков использования таймеров и счетчиков.

***\*\*Задача № 11. Отключение освещения с выдержкой времени***

Освещение в цехе Y01 должно выключаться через 30 с после выключения тумблера Х01. Включение света должно осуществляться без задержек по сигналу с того же тумблера.

***\*\*Задача №12. Управление шлагбаумом***

По нажатии кнопки «ОТКРЫТЬ» Х01 на 10 с должен включиться двигатель №1 Y01 подъемного механизма шлагбаума. Через 1 мин на 10 с должен включиться двигатель №2 Y02, который приводит в движение механизм опускания шлагбаума.

***\*\*Задача № 13. Автоматическое управление системой орошения***

Орошение растений необходимо производить 2 раза в день: утром с 7.00 до 7.02 и вечером с 21.00 до 21.02. Тумблер «ВКЛ/ВЫКЛ» Х01 должен включать и выключать режим автоматического полива. Электромагнитный клапан орошения оранжереи должен управляться с выхода Y01.

***\*\*Задача №14. Автоматическое управление птицефермой***



Подача корма на птицеферме управляется специальными заслонками Y01 кормушек. Кормление необходимо производить с 10<sup>00</sup> до 18<sup>00</sup> каждые 30 мин, открывая заслонки кормушек на 2 мин. Предусмотреть возможность автоматического управления освещением с выхода Y02. Освещение должно быть включено ежедневно с 10<sup>00</sup> до 19<sup>00</sup>.

**\*\*\*Задача №15. Управление освещением в помещении с помощью одной кнопки**

В помещении находятся 2 группы светильников: потолочные люминесцентные лампы Y01 и кварцевые лампы для обеззараживания воздуха Y02. Необходимо написать программу, работающую по следующему алгоритму: если в течение 2 секунд кнопка «ВКЛ/ВЫКЛ» X01 была нажата 1 раз, то переключается состояние люминесцентных ламп; если кнопка управления была нажата и удерживалась в течение 3 секунд, то переключается состояние кварцевых ламп.

Предусмотреть возможность выключения кварцевых ламп по таймеру через 10 минут после их включения.

Кнопка «ВКЛ/ВЫКЛ» не снабжена механизмом самофиксации.

**\*\*Задача №16. Автоматическая система управления упаковкой продукции**

Детские мячи загружаются в коробку поштучно. Прокатываясь по желобу вниз, мяч попадает в накопитель, выход из которого может быть перекрыт заслонкой Y01. При этом мяч пересекает луч, направленный на фотодиод X01. Дальше мяч попадает в коробку. Когда в коробке окажется 10 мячей, заслонка должна быть закрыта, после чего должен быть включен конвейер Y02. К выходу накопителя подъезжает следующая коробка и замыкает упорный контакт X02. Заслонка снова должна быть открыта. Дальнейшая работа должна проходить аналогично.

**\*\*\*\*Задача №17. Автоматическое управление мешалкой**

В баке находится свежеприготовленное тесто. Необходимо перемешивать его в автоматическом режиме, включая двигатель мешалки Y01 на 20 с и выключая на 10 с. Выбор между ручным и автоматическим режимами работы должен осуществляться тумблером «РУЧ/АВТО» X01.

В режиме ручного управления включение и выключение двигателя мешалки должно осуществляться тумблером «ВКЛ/ВЫКЛ» X02.

В режиме автоматического управления двигатель мешалки должен быть запущен сразу, после того как тумблер «РУЧ/АВТО» X01 был переведен в положение «АВТО».

В случае срабатывания аварийной защиты двигателя X03 должен быть включен звуковой сигнал Y02, работающий в режиме: 2 с включен и 2 с выключен.

Необходимо предусмотреть возможность отключения звукового сигнала и сброса аварийного состояния по нажатию кнопки «СБРОС» X04, а также обеспечить блокировку самозапуска механизма после сброса аварийного сигнала.

Повторный запуск в режиме автоматического управления должен осуществляться посредством переключения тумблера «РУЧ/АВТО» X01 следующим образом: «АВТО»→«РУЧ»→«АВТО», после того как тумблер вернется в положение «АВТО», двигатель мешалки должен быть запущен.

Повторный запуск в режиме ручного управления должен осуществляться посредством переключения тумблера «ВКЛ/ВЫКЛ» X02 следующим образом: «ВКЛ»→«ВЫКЛ»→«ВКЛ», после того как тумблер вернется в положение «ВКЛ» двигатель мешалки должен быть запущен.

**\*\*\*Задача №18. Автоматическое управление процессом стирки**

Стиральная машина должна начать работу по нажатию кнопки «СТИРКА» X01. В течение 25 с машина должна осуществлять вращение на медленной скорости с помощью двигателя №1 Y01. Затем в течение 20 с вращение должно происходить на быстрой скорости с помощью двигателя №2 Y02. После этого в течение 15 с все двигатели должны быть выключены. Затем цикл необходимо повторить. Всего должно пройти 6 циклов. Предусмотреть возможность досрочного прекращения стирки в любой момент времени по нажатию кнопки «СТОП» X02.

Кнопки «СТИРКА» X01 и «СТОП» X02 не снабжены механизмами самофиксации.

**\*\*\*Задача №19. Автоматическая регулировка уровня воды в баке (усложненная)**

Нижний уровень воды в баке контролируется поплавковым датчиком уровня X01. Верхний уровень воды контролируется поплавковым датчиком уровня X02.

Если уровень воды в баке превысит максимально допустимый, то замкнется контакт поплавкового датчика максимального уровня X02. При этом необходимо включить насос Y01, который выкачивает воду из бака. Как только уровень воды опустится до минимально допустимого значения, разомкнется контакт поплавкового датчика минимального уровня, насос Y01 при этом необходимо выключить.

Необходимо обеспечить возможность управления насосом по нажатию на кнопки «ВКЛ» X03 и «ВЫКЛ» X04 параллельно с управлением по сигналам с поплавковых датчиков уровня.

Необходимо предусмотреть аварийную сигнализацию Y02, которая должна включаться, если между включением и отключением насоса прошло более 1 мин.

**\*\*\*\*Задача № 20. Система учета готовой продукции**

Система учета готовой продукции состоит из конвейера, который приводится в движение двигателем Y01, и фотодиода X01. Двигатель конвейера должен включаться и выключаться по нажатию кнопки «ВКЛ/ВЫКЛ» X02.

Бутылки, перемещаясь по конвейеру, пересекают луч света, падающий на фотодиод X02. Каждый раз, когда бутылка пересекает луч, от фотодиода X01 поступает сигнал. После того, как по конвейеру проедет 100 бутылок, должна загореться лампа «СТОП» Y02, а двигатель конвейера Y01 должен быть остановлен.

Следующий цикл работы конвейера и подсчета бутылок должен начаться по нажатию кнопки «СБРОС» X03.

В любой момент времени конвейер может быть остановлен, если кнопка «ВКЛ/ВЫКЛ» X02 будет отжата, при этом информация о количестве прошедших бутылок не должна быть потеряна. В дальнейшем по нажатию кнопки «ВКЛ/ВЫКЛ» X02, работа конвейера может быть продолжена, счет при этом должен продолжиться с того места, на котором он был прерван.

По нажатию кнопки «СБРОС» X03 счетчик бутылок должен обнуляться во всех режимах работы системы учета.

Кнопка «ВКЛ/ВЫКЛ» X02 снабжена механизмом самофиксации, а кнопка «СБРОС» X03 нет.

**Тема №3. Диаграмма последовательности состояний**

Задачи, приведенные в данном разделе, направлены на закрепление навыков составления программ для систем, которые работают в циклическом режиме, при этом каждый цикл работы таких систем состоит из нескольких последовательных стадий.

**\*\*Задача №21. Автоматическое управление работой водонапорной башни**

Уровень воды в башне контролируется двумя поплавковыми датчиками уровня: датчиком минимального уровня X01 и датчиком максимального уровня X02. В башне установлены два насосных агрегата Y01 и Y02, которые откачивают из неё воду.

Если уровень воды превысит максимально допустимый, придет сигнал с датчика максимального уровня X02, при этом необходимо включить первый насос Y01.

Если уровень воды опустится ниже минимально допустимого, придет сигнал с датчика минимального уровня X01, при этом необходимо выключить первый насос Y01. Следующий цикл откачки должен осуществляться при помощи второго насоса Y02 и т. д.

**\*\*\*Задача №22. Автоматическое управление дверью**

Дверь в лабораторию управляется при помощи двух двигателей. Двигатель №1 Y01 используется для поднятия двери, а двигатель №2 Y02 для её опускания.

Под дверью находится сенсорный коврик, реагирующий на вес человека. По периметру дверного проема расположены фотодиоды Х01, соединенные параллельно. Если человек стоит на коврике 1 с, необходимо запустить двигатель №1 Y01 и поднять дверь. Когда дверь полностью поднимется, сработает концевой упор Х03, при этом двигатель №1 Y01 необходимо выключить, дверь при этом останется открытой до тех пор, пока не пропадут сигналы от сенсорного коврика и фотодиодов. Через 1 с после этого необходимо запустить двигатель №2 Y02 и опустить дверь. Когда дверь полностью опустится, сработает концевой упор Х04, после этого двигатель №2 Y01 необходимо отключить. Если в процессе закрывания двери на коврик наступит человек, дверь необходимо открыть.

**\*\*\*Задача №23. Управление реверсивным вентилятором**

Вентилятор работает в двух режимах: нагнетание воздуха Y01 или вытяжка воздуха Y02. Выбор режима должен осуществляться с помощью кнопки «РЕЖИМ» Х01. Это приводит к изменению текущего режима работы. Если до этого вентилятор находился в режиме вытяжки воздуха, то он должен переключиться в режим нагнетания воздуха. И наоборот.

Кнопка «РЕЖИМ» не снабжена механизмом самофиксации.

**\*\*\*Задача №24. Автоматическое управление процессом приготовления кофе**

Процесс приготовления кофе состоит из нескольких последовательных стадий.

Стадия №1. По нажатию кнопки «ВКЛ/ВЫКЛ» (Х01 - кнопка с самофиксацией) проверяется наличие воды в кофеварке (Х02 - датчик наличия воды). Если вода есть, то происходит автоматический переход к стадии №2.

Стадия №2. На этой стадии проверяется наличие кофе в кофеварке (Х03 - датчик наличия кофе). Если кофе есть, то происходит автоматический переход к стадии №3.

Стадия №3. Необходимо произвести кипячение воды, для этого нужно включить нагревательный элемент Y01. Завершение стадии кипячения происходит по сигналу с бинарного датчика температуры воды Х04.

На корпусе кофеварки расположена лампа индикации процесса приготовления кофе Y02. При нажатии кнопки «СТАРТ», лампа должна начать мигать по следующему циклу: 1 с горит, 1 с не горит. В таком режиме лампа должна работать на всех стадиях приготовления кофе. После того как кофе готов, лампа должна гореть непрерывно в течение 30 с а затем погаснуть. Необходимо предусмотреть возможность выключения кофеварки в любой момент по нажатию кнопки «ВКЛ/ВЫКЛ». После вынужденной приостановки процесса приготовления кофе, повторный процесс должен начинаться с первой стадии.

**Тема №4.** Аналоговые входные/выходные сигналы. Логические и математические операции

Задачи, приведенные в данном разделе, направлены на закрепление навыков составления программ для считывания/записи и обработки аналоговых сигналов специальными модулями ПЛК, изучение математических команд.

**Задача №25. Автоматическое технологического процесса тепловой обработки продукта с перемешиванием**

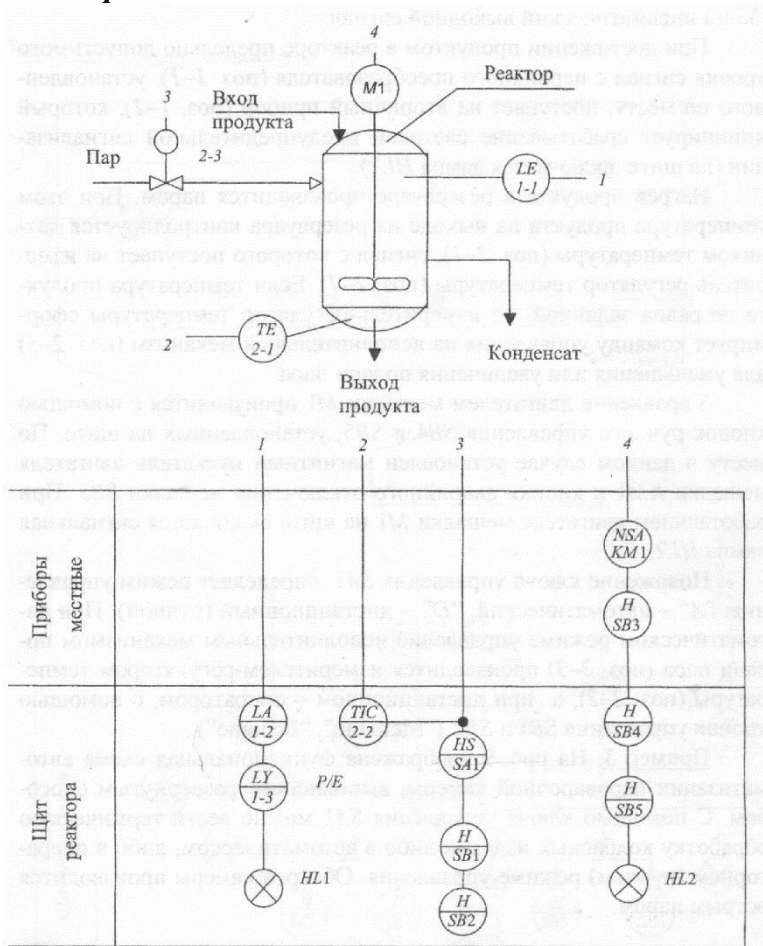


Рис. 8. Функциональная схема автоматизации реактора

При достижении продуктом в реакторе предельно допустимого уровня 3м сигнал с первичного преобразователя (поз. 1–1), установленного по месту, поступает на вторичный прибор (поз. 1–2) X01, который инициирует срабатывание световой предупредительной сигнализации (на щите включается лампа HL1) Y01.

Нагрев продукта в резервуаре производится паром. При этом температура продукта на выходе из резервуара контролируется датчиком температуры (поз. 2–1), сигнал с которого поступает на измеритель-регулятор температуры (поз. 2–2) X02. Если температура продукта не равна заданной  $350^{\circ}\text{C}$ , то измеритель-регулятор температуры сформирует команду управления на исполнительный механизм (поз. 2–3) Y02 для уменьшения или увеличения подачи пара. Управление двигателем мешалки M1 (Y03) производится с помощью кнопок ручного управления SB4 (X03) и SB5 (X04), установленных на щите. По месту в данном случае установлен магнитный пускатель двигателя мешалки KM1 и кнопки аварийного отключения мешалки SB3 (X05). При работающем двигателе мешалки M1 на щите включается сигнальная лампа HL2 (Y05). Положение ключа управления SA1 (X06) определяет режим управления: "А" – автоматический, "D" – дистанционный (ручной). При автоматическом режиме управление исполнительным механизмом подачи пара (поз. 2–3) производится измерителем-регулятором температуры (поз. 2–2), а при дистанционном – оператором, с помощью кнопок управления SB1 (X07) и SB2 (X08) ("Меньше", "Больше").

## Задача №26. Автоматическое управление пароварочной машиной

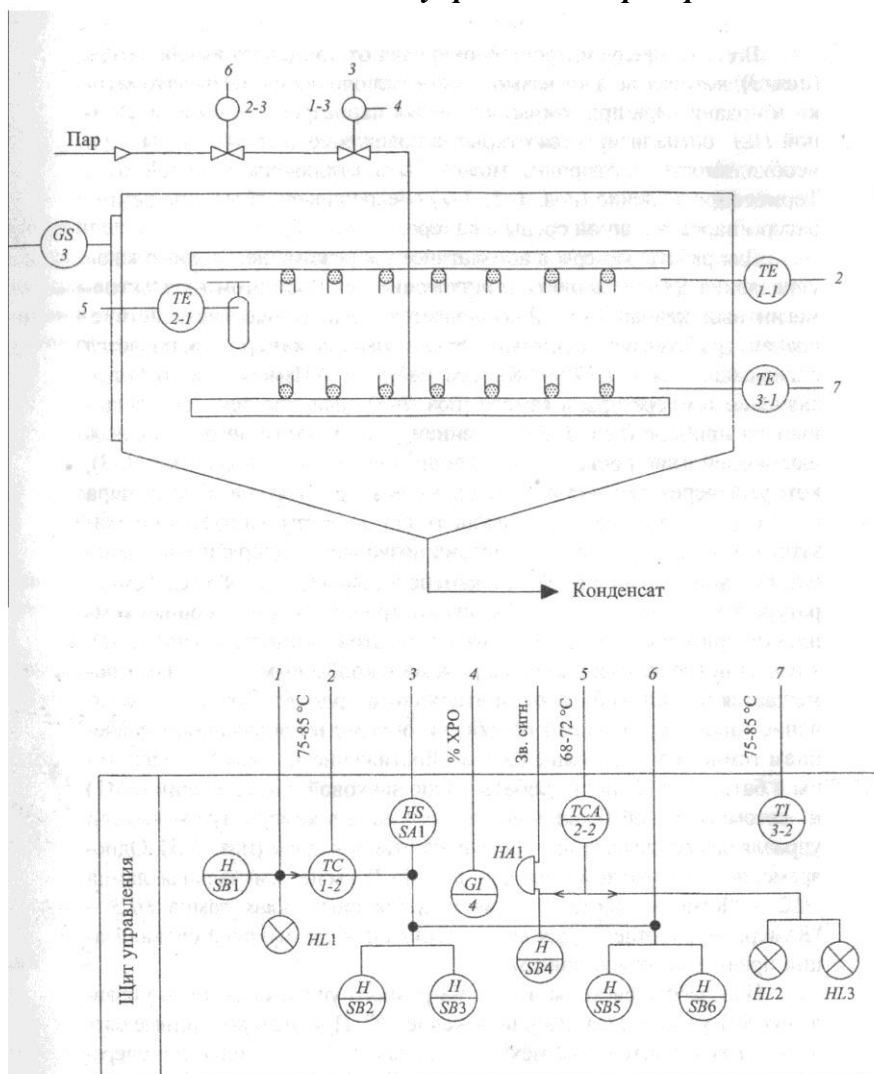


Рис. 9. Функциональная схема автоматизации пароварочной камеры

В схеме предусмотрена блокировка от концевого выключателя (поз. 3) XO1, которая не дает возможности включения системы автоматики и подачи пара при открытых дверях пароварочной камеры. Лампой HL1 (Y01) сигнализируется открытое положение дверей камеры. При необходимости блокировка может быть отключена кнопкой SB1 (X02).

Термосопротивление (поз. 1–1, 3–1) (X03–X04) обеспечивает измерение температуры паровоздушной среды в камере.

Для работы камеры в автоматическом режиме необходимо ключ управления SA1 (X05) установить в положение "А". При этом на электромагнитный клапан (поз. 2–3) (Y02) подается управляющее воздействие, клапан срабатывает, открывая подачу пара в камеру. Включается сигнальная лампа HL2 (Y03) – "Камера работает". Измеренное текущее значение температуры в камере (поз. 1–1) (X06) сравнивается с его заданным на приборе (поз. 1–2) значением, в результате чего управляющее воздействие поступает на исполнительный механизм (поз. 1–3) (Y04), который через регулирующий орган воздействует на подачу пара в камеру. Система позволяет поддерживать температуру паровоздушной среды в камере в диапазоне 75–85 °С.

Температура в центре колбасного батона контролируется с помощью комплекта приборов, состоящего из игольчатой термопары (поз. 2–1), которая после загрузки камеры рамами с колбасными изделиями помещается в один из батонов, и вторичного прибора (поз. 2–2) (X07). Окончание цикла термической обработки определяется заданным

значением температуры в толще батона. Достижение заданной температуры в батоне приводит к срабатыванию звуковой сигнализации (HA1) (Y05) и автоматической блокировке подачи пара в камеру путем выдачи управляющего сигнала на электромагнитный клапан (поз. 2–3) (Y06). Одновременно с закрытием клапана (поз. 2–3) гаснет сигнальная лампа HL2 – “Камера работает” и включается сигнальная лампа HL3 – “Камера не работает” (Y07). Для выключения сигнала звуковой сигнализации предусмотрена кнопка SB4 (X08).

При работе системы в режиме ручного управления ключ управления SA1 устанавливается в положение “Р”. При этом командные сигналы на исполнительные механизмы (поз. 1–3, 2–3) подаются оператором посредством кнопок управления SB2 (X09), SB3 (X10) (“Меньше”, “Больше”) и SB5 (X11), SB6 (X12) (“Открыть”, “Закрыть”). Визуальное наблюдение за температурой паровоздушной среды в камере и в центре батона осуществляется по показаниям измерителя температуры (поз. 3–2), связанного с датчиком температуры (поз 3– 1), и вторичного прибора (поз. 2–2).

**Максимальный балл за практическую работу составляет 20,  
минимальный балл 11.**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический (институт) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

*Факультет информационных технологий  
Кафедра электротехники и энергообеспечения предприятий*

Направление подготовки **13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**  
Программа подготовки **«Инновационные технологии в электрохозяйстве  
нефтехимических предприятий»**

### **Вопросы к экзамену**

По дисциплине «Микропроцессорные системы управления энергетическими объектами»

1. Определение и структура процессора. Шинная структура связей в микропроцессорной системе.
2. Архитектура и режимы работы микропроцессорных систем.
3. Функции и схема включения процессора.
4. Структура модуля памяти и функции памяти.
5. Структура и функции устройства ввода-вывода.
6. Классификация и структура микроконтроллеров. Процессорное ядро микроконтроллера. Память программ и данных микроконтроллера.
7. Организация связи микроконтроллера с внешней средой и временем. Вспомогательные аппаратные средства микроконтроллера.
8. Архитектура персонального компьютера. Устройства, входящие в состав персонального компьютера.
9. Промышленные и встраиваемые компьютеры, их архитектура. Особенности программного обеспечения промышленных компьютеров.
10. Промышленные контроллеры, структурные компоненты контроллеров. Классификация контроллеров.
11. Языки программирования контроллеров. Структура системы подготовки программ промышленных контроллеров. Критерии выбора контроллеров.
12. Описание централизованной и распределенной систем автоматизации с применением промышленной сети и распределенных систем связи с объектом.
13. Программно-технические комплексы на базе контроллеров (ПТК). Характеристики ПТК. Классификация ПТК. Особенности выбора ПТК.
14. Цифровые промышленные сети (ЦПС). Требования к ЦПС. Характеристики основных стандартных ЦПС. Иерархия АСУ ТП и ЦПС.

15. Устройства связи с объектом (УСО). Нормирующие преобразователи. Дискретные модули УСО. Аналого-цифровые УСО.

16. Типовые средства организации человеко-машинного интерфейса. SCADA-системы.

**Максимальный балл за экзамен составляет 40, минимальный балл 24.**