

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.31-022.53

Ляхор  
Тимофей Васильевич

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПЛК Omron CP1L-E**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-53 80 01 «Автоматизация и управление технологически-  
ми процессами и производствами»

---

Научный руководитель  
Марков Александр Владимирович  
кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2017

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Автоматизация производства в современных условиях позволяет снижать издержки производства продукции. Особенно актуальным это становится в условиях ограниченного количества ресурсов, таких как люди и электроэнергия. На сегодняшний день ни один процесс автоматизации невозможно представить без использования программируемых логических контроллеров. Наибольшее распространение они получили как устройства управления отдельными станками и агрегатами.

В условиях современного автоматизированного производства наметилась устойчивая тенденция решения логической задачи управления технологическим оборудованием в рамках общего программного обеспечения программируемых логических контроллеров (ПЛК). Программируемые логические контроллеры на сегодняшний день являются базовыми элементами систем промышленной автоматизации. На их основе построены все АСУ ТП, системы мониторинга, контроля функционирования, телеметрии, обеспечения безопасности и многие другие.

ПЛК представляют собой устройство, предназначенное для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки команд управления. Они реализованы на базе микропроцессорной техники и работают в локальных и распределенных системах управления в соответствии с заданной программой. От небольших до мощных и высокоскоростных систем ПЛК обеспечивают самых требовательных заказчиков исчерпывающими возможностями и гибкостью при реализации современных сетевых решений в распределенных системах управления и контроля. Первоначально они предназначались для замены релейно-контактных схем, собранных на дискретных компонентах – реле, счетчиках, таймерах, элементах жесткой логики.

Так как данные контроллеры необходимо программировать, настраивать и поддерживать в эксплуатации, возникает необходимость в качественном и эффективном моделировании технологических процессов.

Организация программно-аппаратного комплекса, дает возможность моделировать большинство процессов происходящих на производстве, что позволяет реализовать большинство программного обеспечения АСУ ТП без присутствия непосредственно на объекте внедрения.

Решение указанной проблемы позволит повысить эффективность разрабатываемых систем, уменьшить их стоимость и время внедрения на современные технологические производства, на которые ориентирована современная экономика Республики Беларусь.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными исследованиями университета.** Диссертационная работа выполнена на кафедре систем управления Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники в рамках научно-исследовательских работ: "Разработка системы управления на базе программируемого логического контроллера Omron CP1L-E".

**Цель и задачи исследования.** Основной целью диссертации является создание новой автоматизированной системы, которая позволяет реализовать моделирование технологических процессов, проходящих на промышленных предприятиях Республики Беларусь. А также написание инструкции по эксплуатации к этой системе. Данная система будет создаваться на базе оборудования Omron на кафедре систем управления Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Разработать программное обеспечение (программный комплекс моделирования технологических процессов и конфигурационные файлы);
- 2) доработать аппаратную часть лабораторных макетов, организовав подключений входов и выходов контроллера к датчикам и исполнительным элементам;
- 3) разработать методические указания с описанием последовательности действий в средах разработки CX-Programmer и CX-Drive.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие положения:

- моделирование технологических процессов в разработанной системе;
- программное обеспечение в виде программных проектов, реализующих некоторые наиболее часто встречающиеся задачи автоматизации;
- программное обеспечение в виде конфигурационных файлов настройки, позволяющих осуществлять дистанционную настройку преобразователей частоты;
- учебно-методический комплекс в виде Word документа, который включает в себя инструкции по использованию сред разработки CX-Programmer и CX-Drive, заданий к лабораторным работам а также контрольных вопросов к ним.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 52-ой научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, а также на международной научной конференции Информационные технологии и системы (ИТС-2016).

**Опубликованность результатов.** По материалам диссертационной работы опубликовано 4 печатные работы, включая 2 статьи в материалах конференций и 2 тезисов докладов научных конференций. Суммарный объем публикаций составляет около 6 печатных страниц.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Она содержит 86 страниц основного текста, 80 рисунков, 9 таблиц, 2 приложения, в списке использованных источников 15 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, формулируются задачи и цели исследования.

**В первой главе** проведен анализ особенностей архитектуры аппаратного обеспечения программируемого логического контроллера Omron CP1L-E. Подробно рассматривается назначение каждого элемента лабораторного стенда, приводятся электрические принципиальные схемы.

Лабораторный стенд поставляется в подготовленном к работе состоянии. Все необходимые для работы компоненты закреплены на монтажной рейке и готовы к эксплуатации. Во время выполнения работы студенты могут соединять различные рабочие точки стенда между собой для передачи цифровых и аналоговых сигналов.

В состав стенда входят:

- программируемый логический контроллер Omron CP1L-E, предназначенный для выполнения программ управления различными технологическими процессами;
- источник питания Omron S8VK-G06024, предназначенный для обеспечения питания 24В постоянного напряжения;
- Ethernet-коммутатор Omron W4S1-03B, предназначенный для интеграции в единую сеть Ethernet различных устройств автоматике (ПК, компактного промышленного контроллера и панели оператора);
- преобразователь частоты Omron 3G3MX2-AB002-E, предназначенный для регулирования частоты вращения трехфазного асинхронного электродвигателя;
- трехфазный асинхронный электродвигатель АИС71В4У3, закрепленный на лицевой панели стенда;
- программируемый терминал Omron NB5Q-TW01B, предназначенный для реализации программируемых сенсорных пультов оператора;
- весоизмерительный тензометрический модуль в сборе со специальным кронштейном и винтом, регулирующим прижимное усилие, предназначенный для имитации измерения массы, давления или веса;
- измеритель Omron K3NB-V, предназначенный для совместной работы с весоизмерительным тензометрическим модулем.

Также на макете присутствуют такие элементы как реле, светодиодные лампы индикации, потенциометры, гнезда для соединений, тумблеры, маховик и вольтметр.

Внешний вид лабораторного стенда представлен на рисунке 1, а его электрические принципиальные схемы – на рисунках 2 и 3.

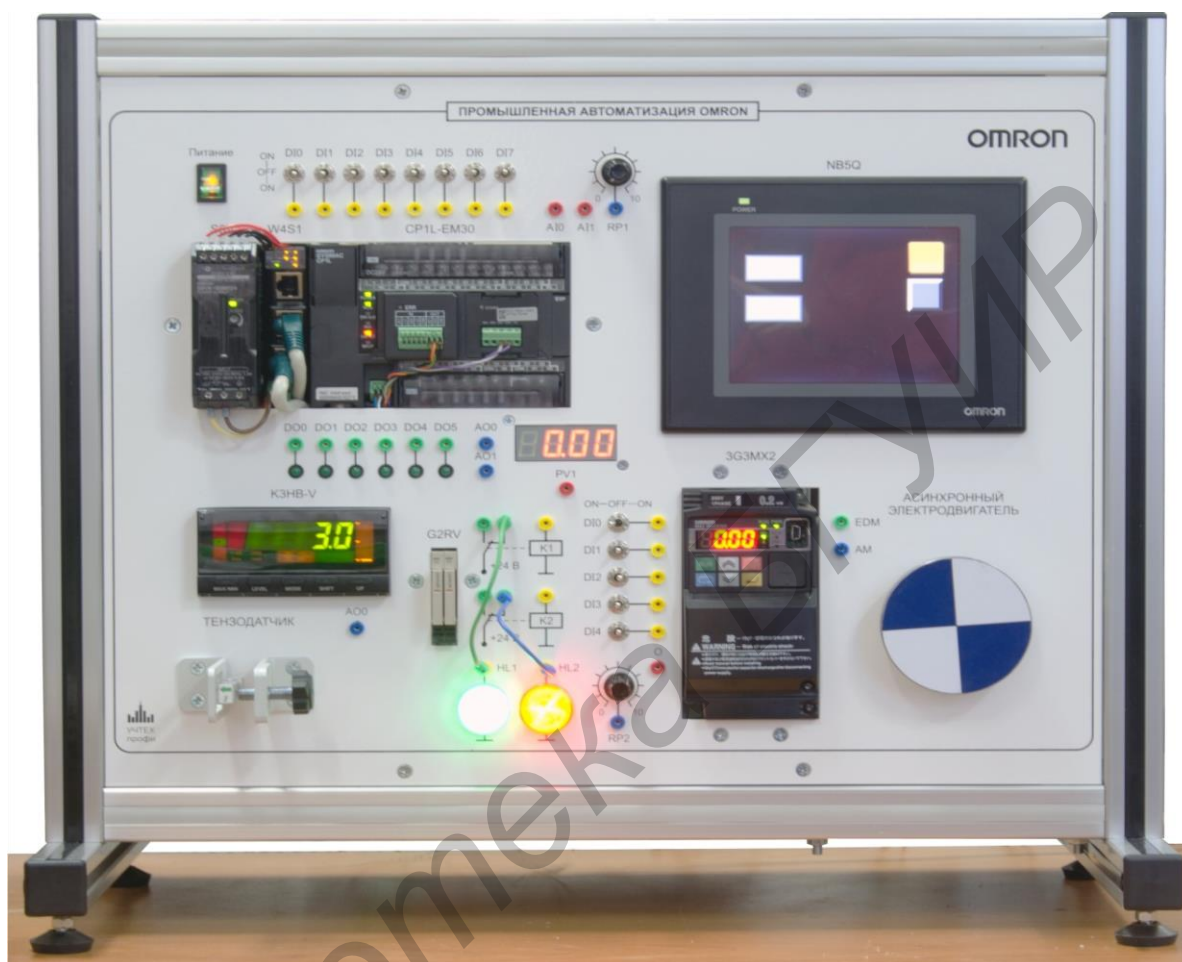


Рисунок 1 – Лабораторный стенд «Промышленная автоматика Omron»

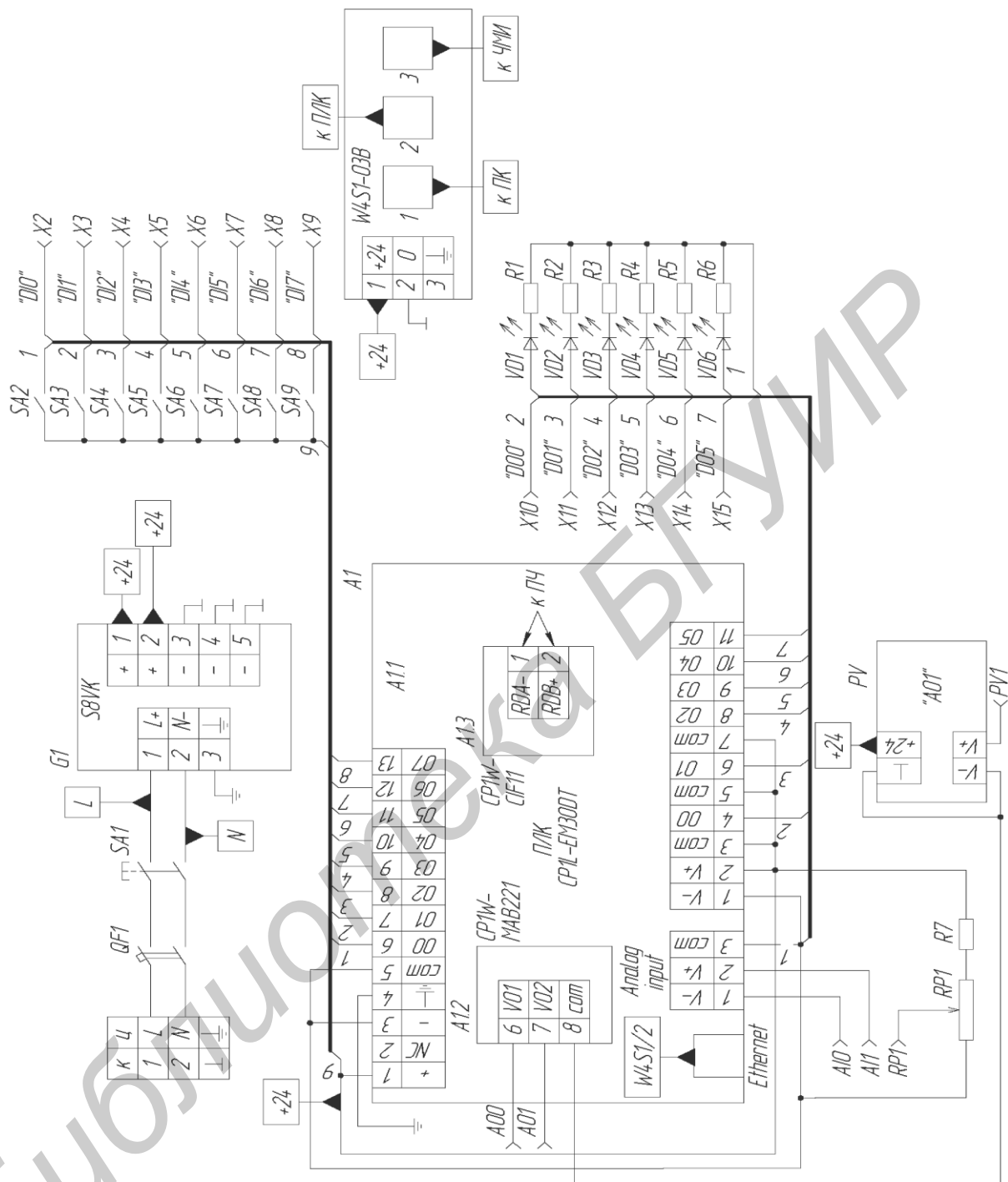


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная. Часть первая

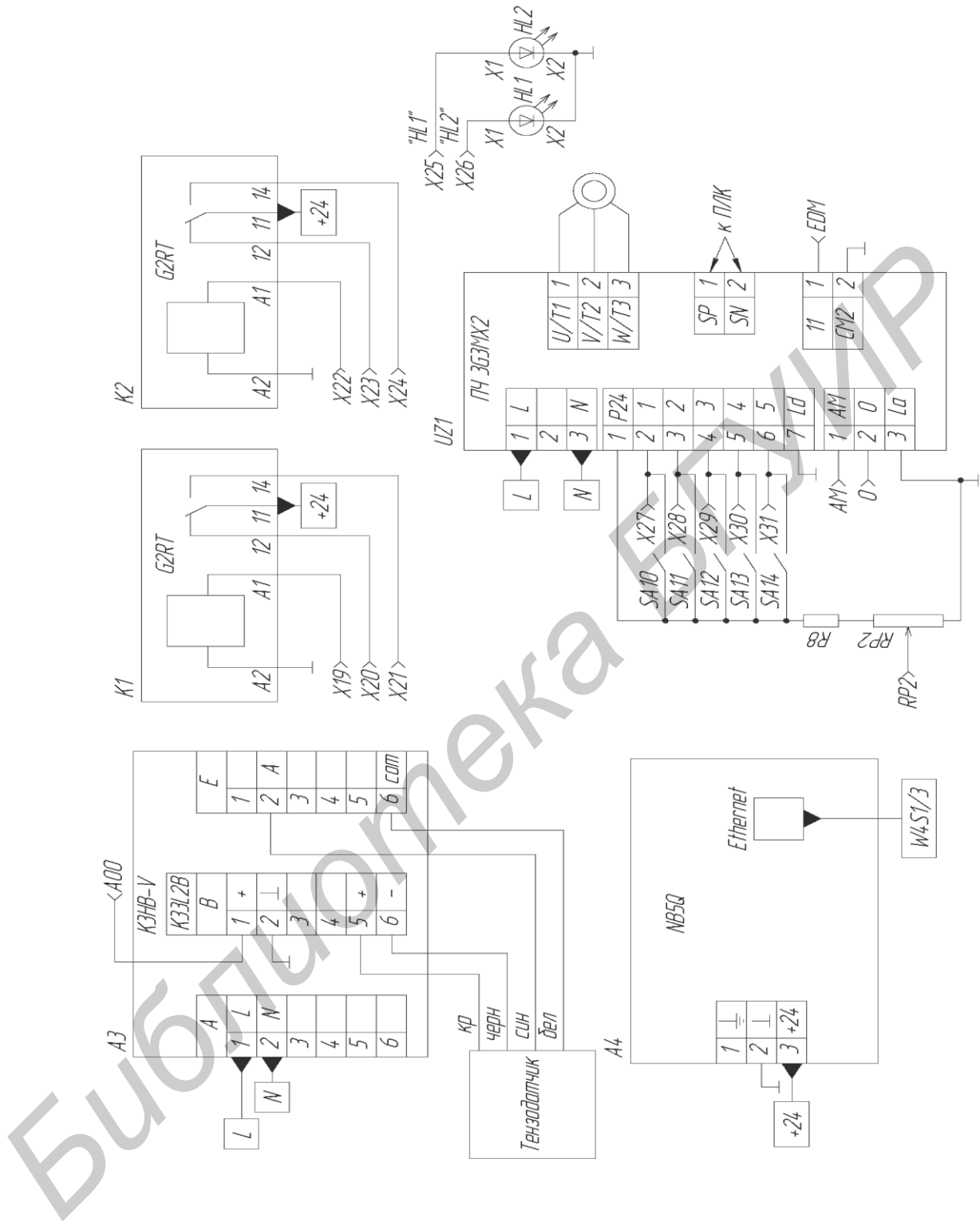


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная. Часть вторая

Подробно разбирается пример создания и конфигурации проекта в среде разработки Omron CX-Programmer:



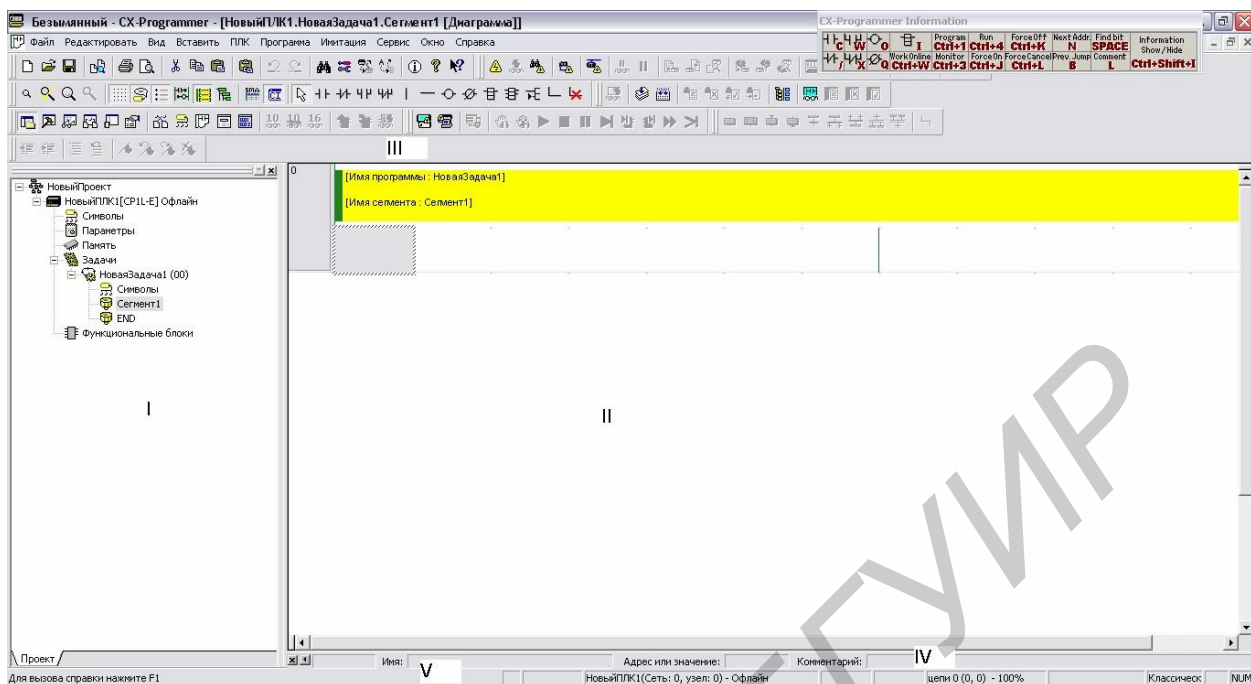


Рисунок 4 – Работа с проектом в среде CX-Programmer

Приведен пример конфигурации сетевого окружения программируемого логического контроллера и его подключения к персональному компьютеру. Практическое задание и контрольные вопросы по теме, рассмотренной в данной главе, приведены в приложении Б.

**Во второй главе** описывается международный стандарт IEC 61131.

Он определяет синтаксис и семантику единого набора языков, который состоит из двух текстовых языков: список инструкций (IL–Instruction List) и структурированный текст (ST–Structured Text), и трех графических: релейно-контактные схемы, или релейные диаграммы (LD–Ladder Diagram), диаграммы функциональных блоков (FBD–Function Block Diagram) и последовательные функциональные схемы (SFC–Sequential Function Chart).

В данных языках заложена методология структурного программирования, позволяющая пользователю представить автоматизируемый процесс в наиболее простой и понятной форме.

Языки IEC 61131-3 базируются на следующих принципах:

- вся программа разбивается на множество функциональных элементов - Program Organization Units (POU), каждый из которых может состоять из функций, функциональных блоков и программ. Любой элемент IEC-программы может быть сконструирован иерархически из более простых элементов;

- стандарт требует строгой типизации данных. Указание типов данных позволяет легко обнаруживать большинство ошибок в программе до ее исполнения;
- имеются средства для исполнения разных фрагментов программы в разное время, с разной скоростью, а также параллельно;
- для выполнения операций в определенной последовательности, которая задается моментами времени или событиями, используется специальный язык последовательных функциональных схем (SFC);
- стандарт поддерживает структуры для описания разнородных данных;
- стандарт обеспечивает совместное использование всех пяти языков, поэтому для каждого фрагмента задачи может быть выбран любой, наиболее удобный, язык;
- программа, написанная для одного контроллера, может быть перенесена на любой контроллер, совместимый со стандартом МЭК 61131-3.

Также рассматривается процесс программирования ПЛК на языке релейно-контактных диаграмм (LD):

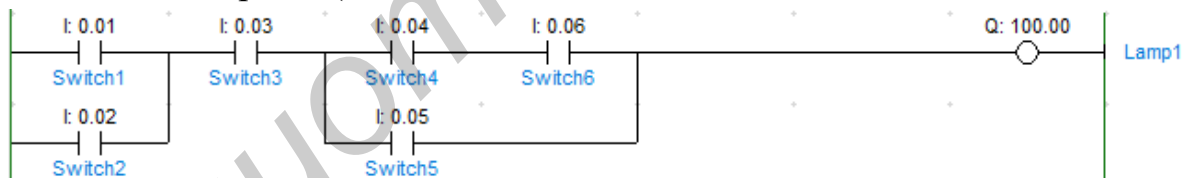


Рисунок 5 – Программирование LD-диаграмм

Особое внимание уделено командам, позволяющим работать с памятью и совершать арифметические операции. Приведены электрические принципиальные схемы дискретных входов и выходов. Продемонстрированы примеры программ осуществляющих решение уравнений булевой алгебры, перемещения данных между регистрами, а также реализации счетчиков и временных задержек с помощью встроенных таймеров. Практическое задание и контрольные вопросы по теме, рассмотренной в данной главе, приведены в приложении Б.

**В третьей главе** рассказывается о назначении и принципах построения частотных преобразователей. Описана структура частотного преобразователя размещенного на лабораторном стенде.

Разработана электрическая принципиальная схема частотного преобразователя:

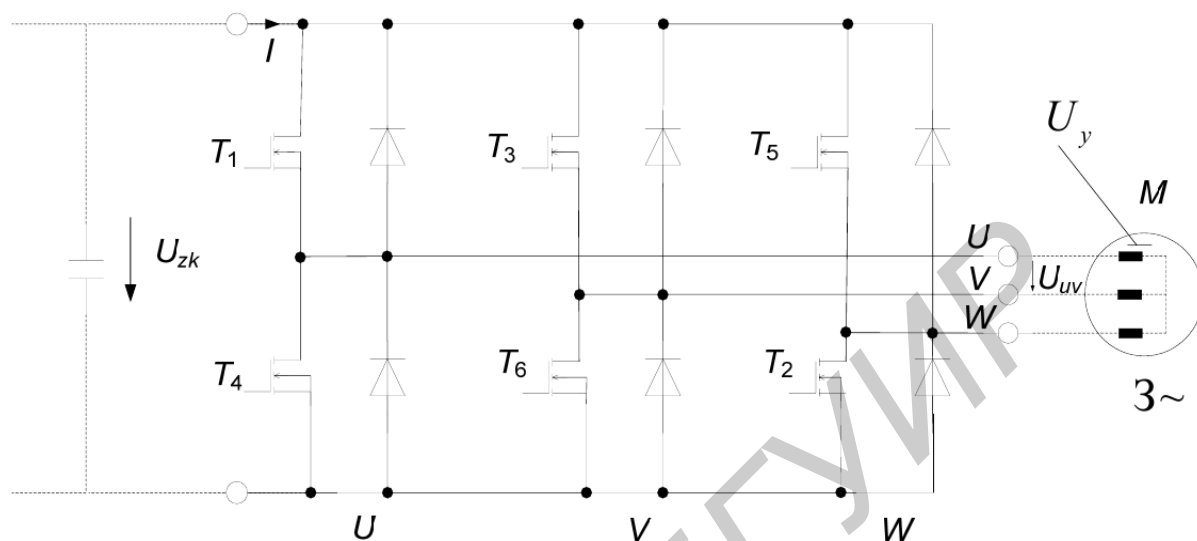


Рисунок 6 – Электрическая принципиальная схема трехфазного инвертора

Приведен пример работы с ним в ручном режиме. Конфигурирование ПЧ MX2 заключается в задании требуемых значений параметров. Совокупность заданных значений параметров привода называется набором параметров. Набор параметров задает определенный режим работы ПЧ. В большинстве случаев применения потребуется дополнительно настроить всего несколько специальных параметров.

ПЧ MX2 имеет достаточно большой перечень программируемых параметров, которые для удобства пользователя разбиты по группам:

- группа «F» – Основные параметры профиля;
- группа «A» – Стандартные функции;
- группа «B» – Функции точной настройки;
- группа «C» – Функции программируемых входов и выходов;
- группа «H» – Константы двигателя;
- группа «P» – Функции карт расширения.

Все параметры ПЧ можно сбросить к их исходным заводским (принимаемым по умолчанию) значениям, соответствующим зоне эксплуатации. Для инициализации ПЧ необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- Выбрать режим инициализации с помощью параметра b084;
- если b084=02, 03 или 04, выбрать инициализируемые данные в b094;

- если b084=02, 03 или 04, указать код страны в b085;
- задать b180=01.

Рассмотрен процесс работы с программным обеспечением CX-Drive. Продемонстрирован процесс удаленной работы с частотным преобразователем и механизм автонастройки.

ПЧ МХ2 имеет встроенную функцию автонастройки, которая позволяет добиться оптимального качества управления двигателем за счет автоматического измерения констант двигателя. Автонастройка эффективна только для векторного управления без датчика обратной связи.

В ПЧ МХ2 реализовано два режима автонастройки:

Автонастройка при остановленном двигателе (H001=01). В процессе авто-настройки двигатель не вращается. Этот режим используется в том случае, если вращение двигателя при автонастройке нежелательно. При этом постоянные двигателя I<sub>0</sub> (ток холостого хода) и J (момент инерции) не измеряются. (Значение I<sub>0</sub> можно посмотреть при частоте 50 Гц в режиме V/f-регулирования).

Автонастройка с вращением двигателя (H001=02). Во время автонастройки для вращения двигателя применяется специальный алгоритм управления. Однако при автонастройке не обеспечивается достаточный вращающий момент, что может быть проблемой для грузоподъемных систем.

Практическое задание и контрольные вопросы по теме, рассмотренной в данной главе, приведены в приложении Б.

**В четвертой главе** рассматриваются особенности функциональной декомпозиции применительно к программируемым логическим контроллерам. Подробно описана концепция программирования с применением функциональных блоков (FBD).

Функциональная декомпозиция – это метод разбиения алгоритма программы на отдельные составляющие, которые описывают определенные функции процесса. Если блоки кода программы, основанные на этих алгоритмах встречаются часто, то в языках высокого уровня их объединяют в функции, процедуры или методы.

На АСУ ТП в случае применения ПЛК, большинство базовых программ, обеспечивающих чтение информации с датчиков и базовое управление объектами, написаны с использованием языка релейных диаграмм LD. Однако, когда технологический процесс усложняется, появляются новые возможности, которые реализовать на языке LD затруднительно:

- общение с другими устройствами по последовательным интерфейсам;

- точное позиционирование двигателей;
- сложные математические операции;
- преобразования аналоговых сигналов.

В качестве демонстрации данной реализации приведен пример программирования функционального блока «Двигатель».

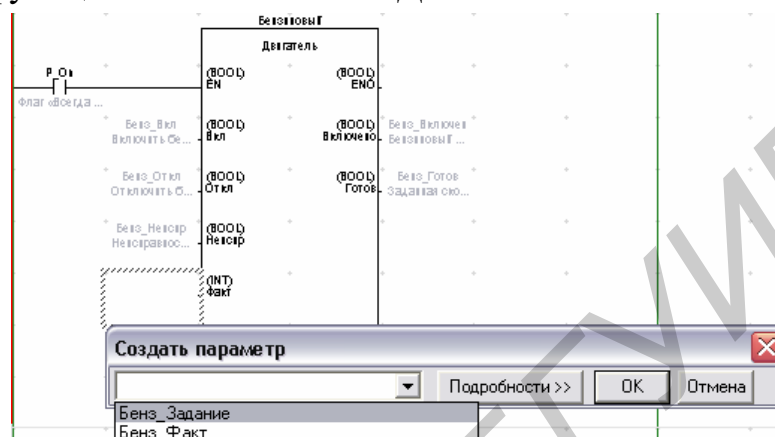


Рисунок 7 –Экземпляр ФВ «Двигатель»

Практическое задание и контрольные вопросы по теме, рассмотренной в данной главе, приведены в приложении Б.

**В пятой главе** демонстрируется возможность разработки программ для программируемых логических контроллеров на языке структурированного текста (ST). Это текстовый язык высокого уровня с инструкциями и синтаксисом уровня адаптированного языка Паскаль. Он позволяет программировать сложные алгоритмы обработки данных – последовательности команд с использованием: переменных, вызовов функций и функциональных блоков, операторов повторения и т.д., а также для описания действий внутри шагов и условий языка SFC. В основном используется в тех случаях, когда алгоритм трудно описать с помощью графических языков.

Имена, используемые в исходном коде (идентификаторы переменных, константы, ключевые слова) разделены неактивными разделителями (пробелами, символами окончания строки и табуляции) или активными разделителями, которые имеют заранее определенное значение (например, символ-разделитель «>» означает сравнение больше чем, а символ «+» операцию сложения и т.д.).

Приведены электрические принципиальные схемы аналоговых входов и выходов ПЛК. Описана методология работы с аналоговыми сигналами. Также продемонстрированы возможности использования структурированного текста в функциональных блоках. Практическое задание и контрольные вопросы по теме, рассмотренной в данной главе, приведены в приложении Б.

**В шестой главе** проведен анализ методологий построения человеко-машинного интерфейса.

Существуют следующие подходы к созданию пользовательских интерфейсов:

- инженерно-технический (Machine-Centered);
- когнитивный (Human-Centered).

Эти два подхода, по сути, представляют автоматизированную систему на самом верхнем уровне детализации и рассматривают процесс разработки интерфейса либо с позиций человека-оператора, либо со стороны функциональных возможностей компьютера.

Инженерно-технический подход к созданию пользовательского интерфейса основан на предположении, что человек работает с компьютером подобно самому компьютеру, то есть, по определенному алгоритму. Методика алгоритмического моделирования GOMS (Goals – Operators – Methods — Selectionrules), представляющая этот подход, предполагает, что результат, получаемый при выполнении пользователем некоторой задачи есть цель. Для ее достижения пользователь может выполнять элементарные действия — операторы. Последовательность операторов, позволяющая достичь цели называется методом.

Ввиду того, что инженерно-технический подход к проектированию интерфейса ориентирован на функциональные характеристики программы, пользователь, работающий с ней, вынужден «думать как разработчик».

Приведена методика ввода в эксплуатацию программируемого терминала Omron NB5Q-TW01B.

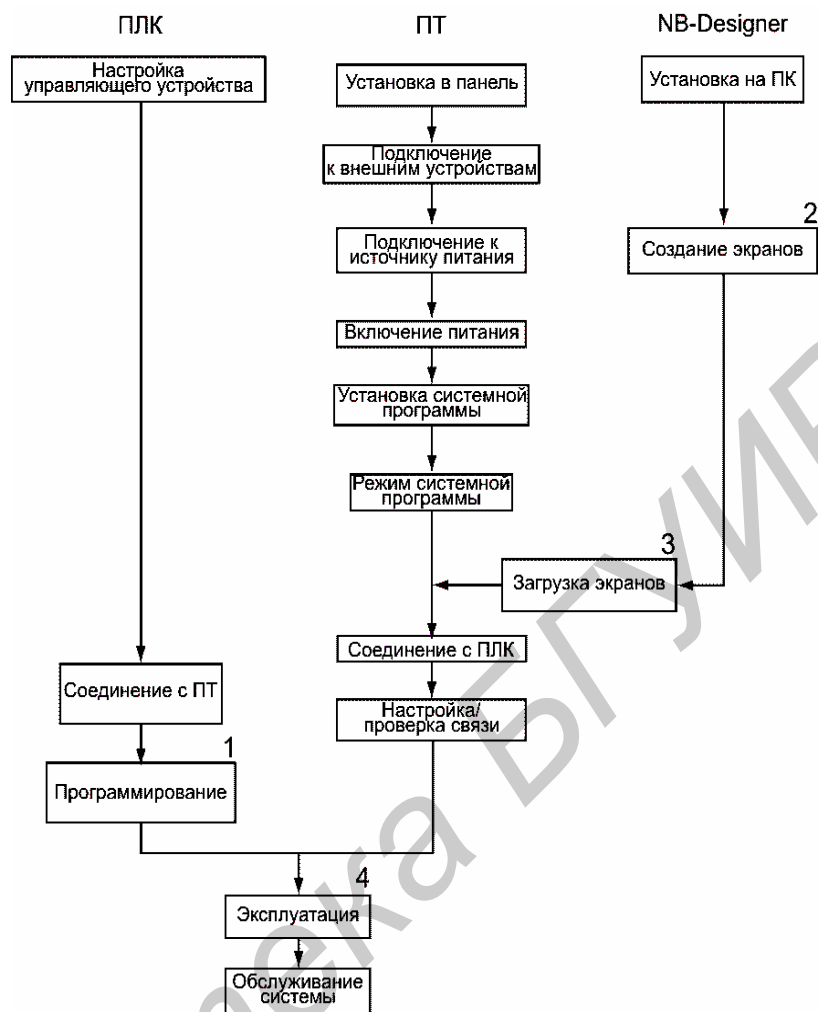


Рисунок 8 – Порядок ввода в эксплуатацию программируемого терминала OMRON NB5Q

Продемонстрирован процесс создания и конфигурации проекта для программируемого терминала. Практическое задание и контрольные вопросы по теме, рассмотренной в данной главе, приведены в приложении Б.

**Приложения** содержат: список команд контроллера; обзор рабочих характеристик устройств управления лабораторного макета; контрольные вопросы и задания к лабораторным работам; акт внедрения результатов диссертационной работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации рассмотрены особенности архитектуры, принципы функционирования и обработки информации в системах управления на базе программируемых логических контроллеров. Приводятся сведения о построении подсистемы памяти, организации ввода/вывода информации и системе команд контроллера Omron CP1L-E. Описаны особенности программирования на всех языках среды программирования Omron CX-Programmer.

На основании проделанной работы, создано методическое пособие, которое содержит указания к выполнению лабораторных работ и материалы к практическим занятиям. Каждая лабораторная работа содержит краткие теоретические сведения, перечень вопросов, которые необходимо изучить в процессе подготовки к лабораторной работе, порядок выполнения, содержание отчета, контрольные вопросы и список литературных источников. Приведена практическая информация о работе в среде программирования Omron CX-Programmer и использования среды конфигурирования CX-Drive.

Созданная лаборатория будет использоваться для следующих задач:

1. Проведение лабораторных работ и практических занятий, выполнения курсовых и дипломных проектов и работ, а так же исследований магистрантами и аспирантами;

2. переподготовка инженерных кадров, обучение их на современной технической базе.

Разработанное программное и методическое обеспечение будет применяться в изучении следующих дисциплин:

- Микроконтроллеры и микропроцессоры в системах управления;
- Элементы и устройства в системах управления;
- Локальные системы автоматизики;
- Теория автоматического управления;
- Телемеханика.

Полученные студентами знания будут использованы при работе по специальности в следующих областях:

- Автоматизация технологических процессов и производств;
- программная реализация алгоритмов управления;
- Промышленные системы автоматического регулирования
- Анализ и синтез автоматических систем



## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в материалах конференций

1. Ляхор Т. В. Система управления на базе программируемого логического контроллера Omron CP1L-E / Т.В. Ляхор // Информационные технологии и управление: Материалы 52-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов – Минск, 2016 – С.45.
2. Ляхор Т.В, Марков А.В. Система управления на базе ПЛК Omron CP1L-E // Информационные технологии и системы: Материалы международной научной конференции ИТС-2016, Минск, 2016. – С. 36-37.

Библиотека БГУИР