

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Кафедра автоматизированного электропривода

Д.И. Савкин, К.Г. Федорова, Д.М. Шпак

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Лабораторный практикум
для студентов, обучающихся по направлению
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ISBN 978-5-7046-3330-3

© Д.И. Савкин, К.Г. Федорова, Д.М. Шпак, 2025

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2025

УДК 621.398
ББК 32.965
С 135

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре автоматизированного электропривода

Рецензенты: д. т. н., проф. А.С. Анучин;
 к. т. н., доц. Г.Л. Демидова

Савкин, Д.И.

С 135 Элементы систем автоматики [Электронный ресурс]: лабораторный практикум / Д.И. Савкин, К.Г. Федорова, Д.М. Шпак. – Электрон. дан. – М.: Издательство МЭИ, 2025. – 1 электрон. опт. диск CD-ROM.

Лабораторный практикум содержит методические материалы и задания по исследованию силовых преобразователей, средств оценки координат электропривода и элементов систем автоматизации с использованием современных программно-аппаратных комплексов, а также программируемых логических контроллеров и частотных преобразователей.

Для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по программе «Электропривод и автоматика», и может быть использовано обучающимися других направлений, осваивающими курсы в области электропривода и автоматизации технологических процессов.

Минимальные системные требования:

Компьютер: процессор x86 с тактовой частотой 500 МГц и выше;

ОЗУ 512 Мб; 20 Мб на жестком диске;

Видеокарта: SVGA 1280x1024 High Color (32 bit);

Операционная система: Windows XP/7/8 и выше;

Дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader версии 6 и выше.

ISBN 978-5-7046-3330-3

© Д.И. Савкин, К.Г. Федорова, Д.М. Шпак, 2025

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
Раздел 1. Силовые преобразователи и элементы систем оценки координат электропривода	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4	19
Раздел 2. Элементы систем автоматизации	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2	37
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3	44
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	58

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Элементы систем автоматики» занимает важное место в подготовке специалистов в области электропривода и систем автоматизации, связывая теоретические основы электротехники, силовой электроники и теории автоматического управления с практическими навыками конфигурирования и эксплуатации современных систем управления. Лабораторный практикум, входящий в состав учебно-методического обеспечения дисциплины, ориентирован на отработку умений работать с силовыми преобразователями, измерительными средствами и программируемыми логическими контроллерами в составе электропривода и автоматизированных систем.

Материал практикума структурирован по двум разделам: в первом рассматриваются силовые преобразователи и элементы систем оценки координат электропривода, включая анализ форм напряжения и тока, оценку уровня гармонических искажений и принципы построения систем измерения; во втором разделе изучаются элементы систем автоматизации, методы разработки программного обеспечения для программируемых логических контроллеров (ПЛК) и взаимодействие контроллеров с частотными преобразователями по промышленным интерфейсам. Каждая лабораторная работа содержит формулировку цели, краткие теоретические сведения, задание на подготовку, порядок выполнения и контрольные вопросы, что позволяет использовать практикум как для аудиторной работы, так и для самостоятельного освоения материала.

Предлагаемые задания ориентированы на поэтапное формирование профессиональных компетенций, необходимых для проектирования и эксплуатации современных электроприводных и автоматизированных систем: от анализа режимов работы силовых преобразователей до разработки и отладки алгоритмов управления на различных языках программирования ПЛК и настройки частотных преобразователей по цифровым интерфейсам связи. Использование единой лабораторной базы и унифицированных программно-аппаратных средств обеспечивает преемственность между отдельными работами и способствует более глубокому пониманию роли элементов систем автоматики в структуре электропривода и автоматизированных технологических комплексов.

РАЗДЕЛ 1. СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУПРАВЛЯЕМОГО ТРЕХФАЗНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы

Изучить работу неуправляемого диодного выпрямителя; рассмотреть изменение формы потребления тока сети при изменении нагрузки выпрямителя; оценить коэффициент гармонических искажений потребляемого тока.

Теоретическая вставка

В данной работе объектом изучения является диодный выпрямитель, собранный по мостовой схеме. В лабораторных стендах такой выпрямитель является частью преобразователя частоты (ПЧ), который предназначен для управления асинхронными двигателями (АД). Задачей выпрямителя является формирование напряжения звена постоянного тока (ЗПТ). На рисунке 1 показано, какое место занимает выпрямитель в структуре преобразователя частоты.

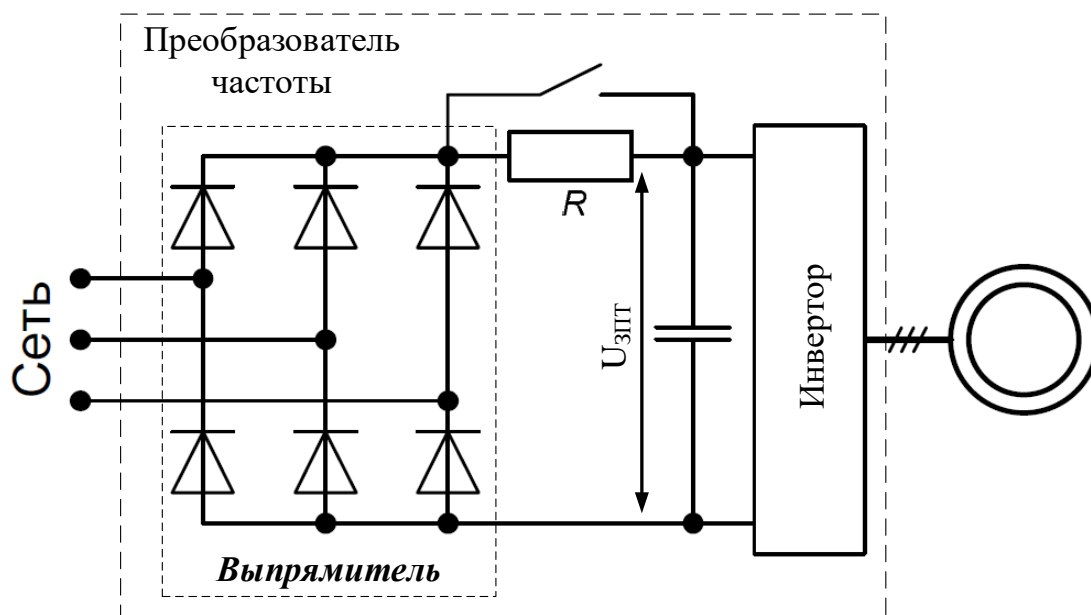


Рис. 1. Структурная схема преобразователя частоты

Использование выпрямителя в составе ПЧ позволяет инвертору формировать на обмотках электродвигателя напряжение произвольной амплитуды (в пределах напряжения звена постоянного тока) и частоты.

При работе выпрямителя форма тока, потребляемого из сети преобразователем, не является синусоидальной. Отличие формы сигнала от синусоидальной показывает такая характеристика, как *коэффициент гармонических искажений (КГИ)* $K_{\text{КГИ}}$, он же *Total Harmonic Distortion (THD)* K_{THD} . Именно по этому параметру можно оценить качество потребления энергии тем или иным устройством. КГИ рассчитывается следующим образом:

$$K_{\text{THD}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_i^2}}{I_1}, \quad (1.1)$$

где I_i – амплитуда i гармоники исследуемого сигнала. Чем выше амплитуды всех гармоник, кроме основной, тем выше K_{THD} . Таким образом, при идеальном синусоидальном сигнале $K_{\text{THD}} = 0$. Амплитуды гармоник можно получить путём разложения сигнала в ряд Фурье.

Задание на подготовку

1. Изобразить теоретическую форму входного тока и выходного напряжения неуправляемого трехфазного выпрямителя (по мостовой схеме) с разными типами нагрузки (резистивная, индуктивная, емкостная). Как будет меняться форма при изменении величины нагрузки?

2. Используя устройства, входящие в состав стенда, разработайте схему исследования формы входных токов выпрямителя, входящего в состав ПЧ, и гармонического состава этих токов. Для этого предусмотрите в схеме следующее:

- на входе ПЧ подключите группу датчиков для измерения фазных токов и напряжений;
- в качестве нагрузки ПЧ следует использовать АД с *короткозамкнутым ротором* М4; обмотки статора электродвигателя следует соединить в *треугольник*;
- обязательно подключение тормозного резистора R_T к выводам «Br₊» и «Br₋» преобразователя частоты;
- для нагружения электродвигателя М4 следует использовать АД с *фазным ротором* М3 в режиме динамического торможения. Для этого

две фазные обмотки статора подключены к тиристорному преобразователю (ТП), а к обмоткам ротора нужно подключить сопротивления 4,2 Ом.

3. С использованием паспортных данных на лабораторное оборудование оцените диапазон измеряемых величин и постройте соответствующие графики в необходимом масштабе в отчёте по лабораторной работе. Подготовьте таблицы для регистрации экспериментальных данных. Рекомендуется регистрировать показания всех стрелочных приборов, а также значение напряжения ЗПТ и частоты вращения двигателя, которые отображаются на панели ПЧ.

Выполнение работы

1. Произведите монтаж разработанной схемы.

2. Подготовьте ПЧ к работе в режиме *стабилизации частоты выходного напряжения*. Для этого следует установить тумблер «Стабилизация» в положение «*f*». В этом режиме потенциометр «Задание» устанавливает частоту питающего напряжения. Текущее значение частоты во время работы можно увидеть на ЖК-панели ПЧ в правом верхнем углу.

3. Так как электродвигатель М3 в режиме динамического торможения развивает *реактивный* момент, полярность задания частоты вращения электродвигателя М4 можно выбрать любой. Потенциометр «Задание», расположенный около ТП, задаёт напряжение на обмотках статора электродвигателя. Чем выше напряжения, тем выше момент М3, и, соответственно, тем выше нагрузка на М4. Текущее значение напряжения можно увидеть на ЖК-панели ТП.

4. Запустите на ПК программу «PowerGraph» и выведите на осциллограмму следующие сигналы:

- токи фаз *A, B, C*;
- линейные напряжения *AB* и *BC*;
- скорость вращения двигателя.

Расположите графики так, чтобы все токи были расположены вдоль одной оси, все напряжения вдоль другой, а скорость была расположена вдоль третьей оси. Для удобства сравнения сигналов все токи должны иметь одинаковые масштабы, то же касается и напряжений.

5. Перед началом работы установите регуляторы задания ПЧ и ТП в положение «0».

6. Запустите ПЧ и задайте частоту напряжения равную 50 Гц.

7. Проведите эксперименты при изменении нагрузки в диапазоне от 0 кВт до 4 кВт с шагом 0,5 кВт. Нагрузка меняется вращением потенциометра «Задание» на ТП.

Для каждой снимаемой точки:

- для определения мощности можно воспользоваться формулой $P = M \cdot \omega$, где M – момент на валу электродвигателя, а ω – частота вращения электродвигателя. Не забудьте пересчитать частоту вращения из «об/мин» (показания приборов) в «рад/с»;

- занесите показания всех приборов в таблицу;

- сохраните осциллограмму из программы «PowerGraph». Настройте масштаб по оси времени так, чтобы в один экран помещалось 3–5 периодов напряжения. Сохранение осциллограммы можно выполнить, нажав на клавиатуре клавишу «PrintScreen» и затем вставив изображение в «Paint». Обязательно дайте файлу «понятное» названия, чтобы можно было определить, для какого опыта была получена осциллограмма;

- средствами программы «PowerGraph» постройте для любого тока разложение в ряд Фурье. В настройках разложения в правой части окна установите следующие параметры: «Тип спектра» – «Amplitude», «Размер БПФ» – «16384», «Весовая функция» – «Hamming», «Усреднение» – «Нет». Кнопками «+» и «–» в левой нижней части окна установите масштаб по оси X так, чтобы на график умещалось 8–10 гармоник.

8. Оформите отчёт и сформулируйте выводы по работе. В отчёте постройте выходную характеристику выпрямителя (зависимость выходного напряжения от тока или мощности). Для каждого опыта рассчитайте $K_{\text{КГН}}$ по первым пяти гармоникам и постройте графики изменения этого коэффициента от мощности.

Контрольные вопросы

1. В каком порядке происходит переключение диодов в выпрямителе?
2. Как сказывается добавление индуктивной составляющей к нагрузке выпрямителя?
3. Какую роль выполняет зарядный резистор на выходе выпрямителя?

[Вернуться к началу работы](#)
[Вернуться к содержанию](#)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМОГО ТРЕХФАЗНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы

Изучить работу управляемого тиристорного выпрямителя, рассмотреть изменение формы потребления тока сети при изменении нагрузки выпрямителя; оценить коэффициент гармонических искажений потребляемого тока.

Теоретическая вставка

В данной работе объектом изучения является тиристорный *выпрямитель*, собранный по мостовой схеме. В лабораторных стендах такой выпрямитель является частью тиристорного преобразователя (ТП), который предназначен для управления двигателями постоянного тока (ДПТ). Задачей выпрямителей в этом преобразователе является формирование постоянного напряжения на обмотках якоря и возбуждения электродвигателя. На рисунке 2 показана схема такого выпрямителя.

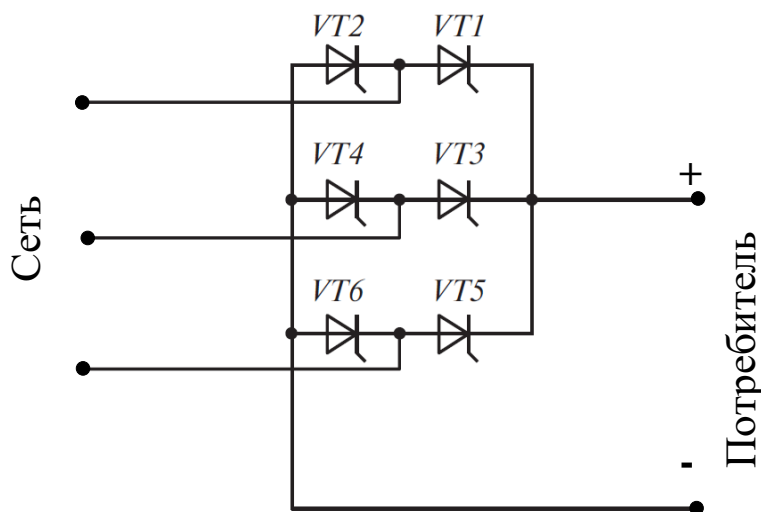


Рис. 2. Схема управляемого тиристорного выпрямителя

Также для работы такого выпрямителя обязательно наличие системы управления (не показана на схеме), которая будет включать тиристоры по определённому алгоритму для формирования заданного выходного напряжения.

При работе выпрямителя форма тока, потребляемого из сети преобразователем, не является синусоидальной. Отличие формы сигнала от

синусоидальной показывает такая характеристика, как *коэффициент гармонических искажений (КГИ)* $K_{\text{КГИ}}$, он же *Total Harmonic Distortion (THD)* K_{THD} . Именно по этому параметру можно оценить качество потребления энергии тем или иным устройством. КГИ рассчитывается следующим образом:

$$K_{\text{THD}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_i^2}}{I_1}, \quad (2.1)$$

где I_i – амплитуда i гармоник исследуемого сигнала. Чем выше амплитуды всех гармоник, кроме основной, тем выше K_{THD} . Таким образом, при идеальном синусоидальном сигнале $K_{\text{THD}} = 0$. Амплитуды гармоник можно получить путём разложения сигнала в ряд Фурье.

Задание на подготовку

1. Изобразить теоретическую форму входного тока и выходного напряжения управляемого трехфазного выпрямителя (по мостовой схеме) с разными типами нагрузки (резистивная, индуктивная, емкостная). Объясните, как будет меняться форма при изменении величины нагрузки и изменении угла отпирания?

2. Используя устройства, входящие в состав стенда, разработайте схему исследования формы входных токов выпрямителя (ТП), и гармонического состава этих токов. Для этого предусмотрите в схеме следующее:

- на входе ТП подключите группу датчиков для измерения токов и напряжений якоря;
- в качестве нагрузки ТП следует использовать ДПТ М1;
- для нагружения электродвигателя М1 следует использовать *синхронный двигатель* М2 в режиме *поддержания момента*;
- для управления синхронным двигателем следует использовать преобразователь частоты (ПЧ);

3. С использованием паспортных данных на лабораторное оборудование оцените диапазон измеряемых величин и заготовьте соответствующие графики в необходимом масштабе в отчёте по лабораторной работе. Подготовьте таблицы для регистрации экспериментальных данных. Рекомендуются регистрировать показания всех стрелочных приборов.

Выполнение работы

1. Произведите монтаж разработанной схемы.
 2. Подготовьте ТП к работе в режиме *стабилизации выходного напряжения*. Для этого следует установить тумблер «Стабилизация» в положение «U».
 3. Подготовьте ПЧ к работе в режиме *стабилизации момента двигателя*. Для этого следует установить тумблер «Стабилизация» в положение «М»;
 4. С учётом выбранных выше режимов работы ТП и ПЧ регуляторы «Задание» позволяют задать следующие параметры:
 - **правый** регулятор на ТП задаёт величину напряжения на обмотке якоря М1. Текущую величину напряжения во время работы ТП можно увидеть на ЖК-панели ТП.
 - **левый** регулятор на ТП задаёт величину напряжения на обмотке возбуждения М1. Данный регулятор следует всегда устанавливать в максимальное положение.
 - на ПЧ один регулятор, и он задаёт величину момента электродвигателя М2, что определяет степень нагрузки. Момент задаётся в процентах от 0 до 100% от номинального момента электродвигателя (25 Нм). Текущее задание момента во время работы ПЧ можно посмотреть на ЖК-панели ПЧ.
 5. Запустите на ПК программу «PowerGraph» и выведите на осциллограмму следующие сигналы:
 - токи фаз А, В, С;
 - линейные напряжения АВ и ВС;
 - скорость вращения электродвигателя.
- Расположите графики так, чтобы все токи были расположены вдоль одной оси, все напряжения вдоль другой, а скорость была расположена вдоль третьей оси. Для удобства сравнения сигналов все токи должны иметь одинаковые масштабы; то же касается и напряжений.
6. Перед запуском электродвигателей следует установить регуляторы заданий момента ПЧ и напряжения якоря ТП в положение «0».
 7. Чтобы убедиться, что электродвигатель М2 имеет момент, противоположный моменту М1 (т.е. именно *нагружает* электродвигатель М1, а не помогает ему разогнаться), следует по отдельности включить сначала электродвигатель М1 с небольшим заданием напряжения, а затем электродвигатель М2 с небольшим заданием момента. Если в обоих случаях роторы машин вращались в одном направлении, следует изменить полярность вращения нагрузочной машины М2. Иначе никаких дополни-

тельных действий не требуется. Для запуска М1 используется кнопка «Пуск» из **правого** столбца органов управления.

8. Проведите две серии экспериментов.

Первую серию проведите с заданием напряжения якоря ДПТ **110 В**. Изменяйте нагрузку **от 0 кВт до 2 кВт с шагом 0,5 кВт**.

Вторую серию проведите с заданием напряжения якоря ДПТ **220 В**. Изменяйте нагрузку **от 0 кВт до 4 кВт с шагом 1 кВт**.

Для каждой снимаемой точки:

- для определения мощности можно воспользоваться формулой $P = M \cdot \omega$, где M – момент на валу электродвигателя, а ω – частота вращения электродвигателя. Не забудьте пересчитать частоту вращения из «об/мин» (показания приборов) в «рад/с»;

- занесите показания всех приборов в таблицу;

- сохраните осциллограмму из программы «PowerGraph»; настройте масштаб по оси времени так, чтобы в один экран помещалось 3–5 периодов напряжения. Сохранение осциллограммы можно выполнить, нажав на клавиатуре клавишу «PrintScreen» и затем вставив изображение в «Paint». Обязательно дайте файлу «понятное» названия, чтобы можно было определить, для какого опыта была получена осциллограмма.

- средствами программы «PowerGraph» постройте для любого тока разложение в ряд Фурье. В настройках разложения в правой части окна установите следующие параметры: «Тип спектра» – «Amplitude», «Размер БПФ» – «16384», «Весовая функция» – «Hamming», «Усреднение» – «Нет». Кнопками «+» и «–» в левой нижней части окна установите масштаб по оси X так, чтобы на график умещалось 8–10 гармоник.

9. Оформите отчёт и сформулируйте выводы по работе. Для каждого опыта рассчитайте $K_{\text{кги}}$ по первым пяти гармоникам и постройте графики изменения этого коэффициента от мощности.

Контрольные вопросы

1. Как и почему изменяется напряжение под нагрузкой?
2. Как изменяется коэффициент гармонических искажений с ростом нагрузки?
3. Как меняется коэффициент мощности с ростом нагрузки?

[Вернуться к началу работы](#)

[Вернуться к содержанию](#)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ И ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ДАТЧИКА ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА

Цель работы

Исследование формирования напряжения на обмотках двигателя методом широтно-импульсной модуляции; исследование работы инкрементального датчика положения ротора (энкодера).

Теоретическая вставка

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) – это способ создания эквивалентного потенциала на обмотке электродвигателя (или любого потребителя в общем случае) за счёт импульсной подачи напряжения фиксированного уровня. Большинство современных преобразователей напряжения состоит из двух частей:

- выпрямитель, который преобразует переменное напряжение сети 380 В / 50 Гц в постоянное напряжение 540В, которое называется напряжением звена постоянного тока (ЗПТ);
- инвертор напряжения (рис. 3), который при помощи ШИМ формирует на обмотках электродвигателя напряжения произвольной формы из напряжения ЗПТ.

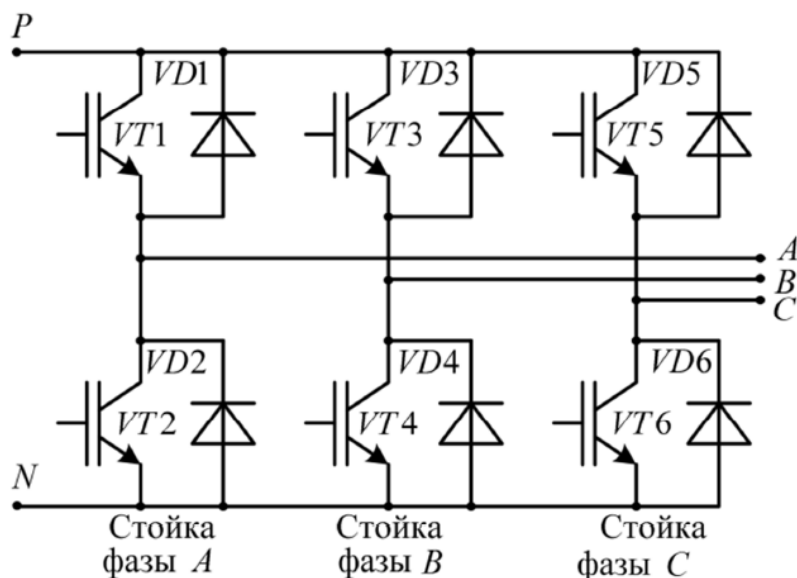


Рис. 3. Структура инвертора напряжения

Для формирования потенциала на стойках *A*, *B* и *C* инвертор поочерёдно включает силовые транзисторы, называемые также *ключами*. Когда включен верхний ключ стойки, к концу обмотки приложен потенциал верхней шины ЗПТ (который равен 540 В), а когда включен нижний – прикладывается потенциал нижней шины ЗПТ (который равен 0 В). Для управления ключами стойки, как правило, используется метод ШИМ.

ШИМ формируется за счёт модуляции высокочастотного сигнала, который называется *несущим сигналом*, другим сигналом, который называется *информационным* или *модулирующим*, как показано на рис. 4. В тот момент, когда значения несущего и модулирующего сигнала становятся равны, происходит включение либо нижнего, либо верхнего ключа. Какой именно ключ включается зависит от направления несущего сигнала в момент его сравнения с модулирующим. За счёт этого к концу обмотки прикладывается либо потенциал верхней шины ЗПТ, либо нижней. Соотношение промежутков времени, в течение которых включен один из ключей, определяет *средний потенциал фазы* на периоде ШИМ.

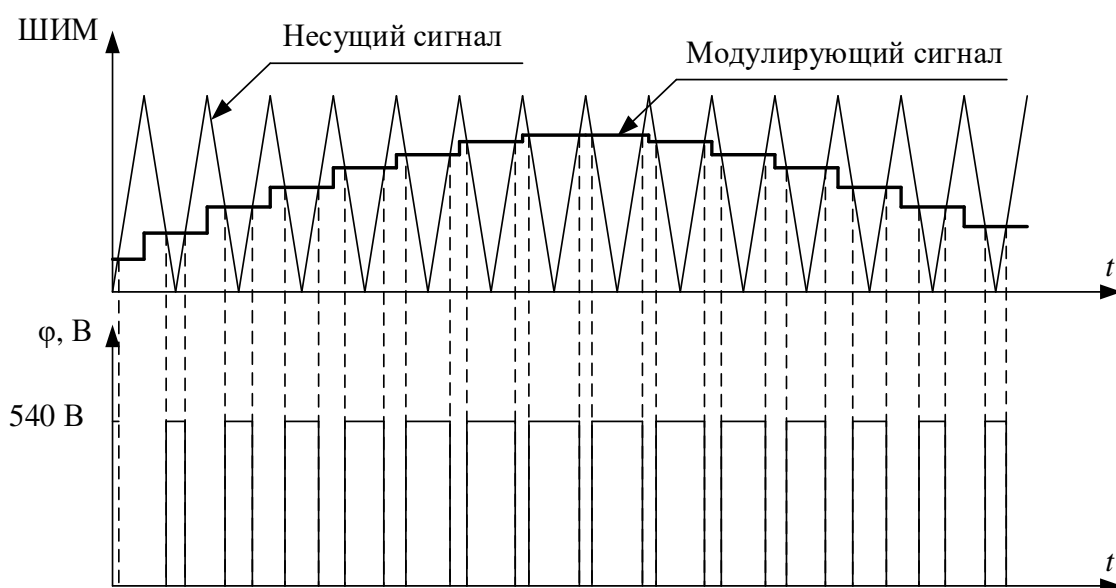


Рис. 4. Изменение потенциала фазы при изменении скважности

При том, что длительности включенных состояний верхнего и нижнего ключей на одном периоде ШИМ могут быть любыми (в пределах, конечно, периода), частота их переключений постоянна и равна частоте несущего сигнала. Как правило это частота составляет от единиц до нескольких десятков кГц. При такой высокой частоте переключений фаза будет эффективно фильтровать прикладываемое к ней напряжение, и получаемый в фазе ток будет гладким, как показано на рис. 5.

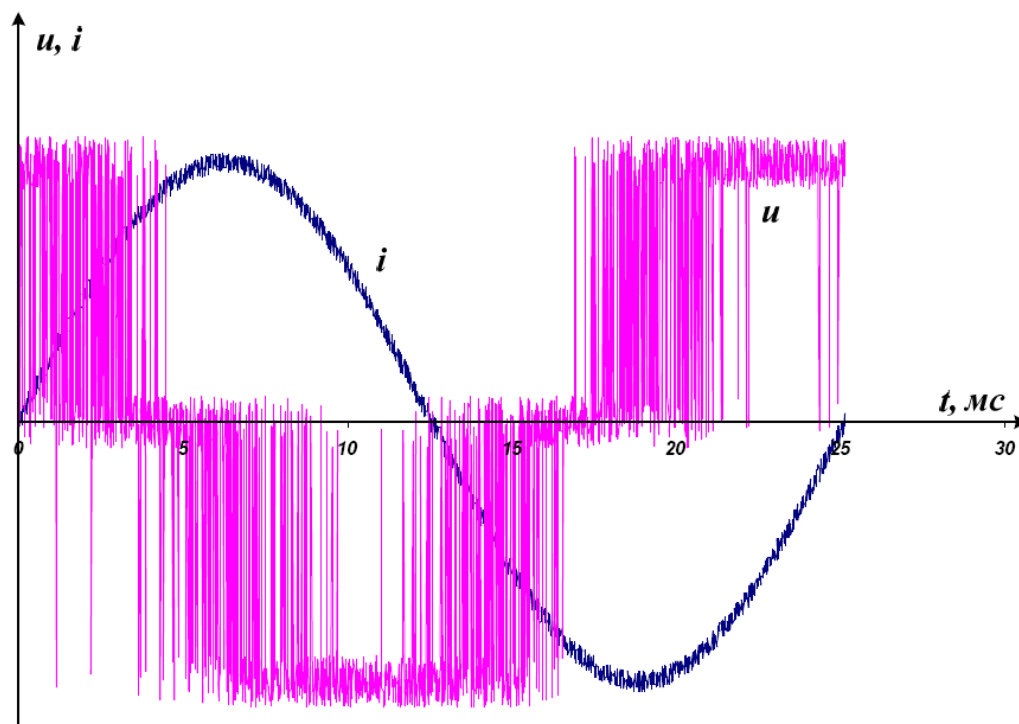


Рис. 5. Фильтрация тока в фазе при работе инвертора в режиме ШИМ
(на осциллограмме показано одно линейное напряжение двигателя и ток фазы)

Инкрементальный энкодер — это устройство, при помощи которого можно определить относительное положение и частоту вращения вала электродвигателя. Инкрементальные энкодеры бывают разных конструкций и принципов действия, но их выходные сигналы формируются по общему алгоритму.

У большинства инкрементальных энкодеров есть 2 или 3 выходных сигнала:

- чередующиеся сигналы *A* и *B*, по которым определяется относительное положение и частота вращения вала;
- (опционально) сигнал *I* (индексный), который можно использовать для определения абсолютного положения вала.

Рассмотрим устройство оптического инкрементального энкодера. Он состоит из подвижной и неподвижной части. Подвижная часть — оптический диск с нанесёнными прорезями — крепится на валу электродвигателя и вращается вместе с ним. Неподвижная часть устанавливается рядом с подвижной. На неподвижной части есть источник и приёмник света, установленные друг на против друга. При вращении подвижного диска нанесённые прорези периодически закрывают и открывают источник света, за счёт чего датчик выдаёт на выходе сигналы, соответствующие логическим «0» и «1». При этом датчики каналов *A* и *B* смещены друг относительно друга на четверть периода.

На рисунке 6 показано как будут меняться сигналы *A* и *B* энкодера при вращении вала. За счёт того, что сигналы смещены на четверть периода, можно определить направление вращения вала. Так как энкодер имеет 4 метки на одном обороте, то за один полный оборот каждый канал выдаст по 4 импульса.

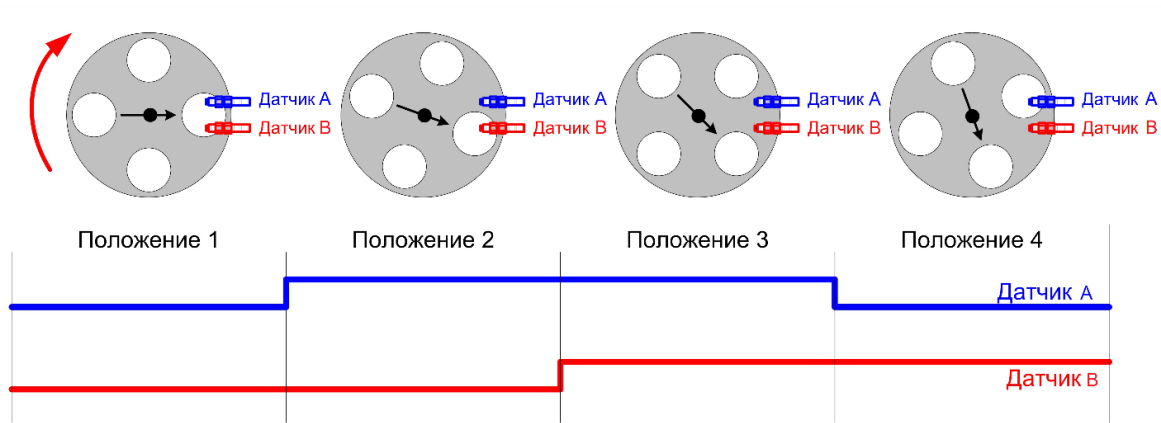


Рис. 6. Формирование выходных сигналов инкрементального энкодера

Подсчитывая время между соседними передними фронтами канала *A*, можно определить частоту вращения вала. Например: между моментами появлений соседних передних фронтов одного из каналов прошло 10 мс. Известно, что на полном обороте вала появляется 4 импульса. Следовательно, полный оборот вал совершит за 40 мс. Значит, частота вращения вала $1/0,04 = 25$ об/сек = 1500 об/мин. Следует отметить, что можно измерять время не только между передними фронтами канала *A*, но и между любыми фронтами любых каналов. Главное затем правильно учесть полученные данные при расчёте.

Подсчитывая общее количество прошедших импульсов (или фронтов по обоим каналам), можно определить угол поворота вала. Например: известно, что каждый канал выдаёт 4 импульса. Следовательно, за полный оборот вала можно подсчитать 8 импульсов на одном канале – 4 передних и 4 задних. А если брать в сумме оба канала, то за один оборот вала можно подсчитать 16 фронтов. Предположим, за какое-то время было подсчитано 9 фронтов по обоим каналам. Это означает, что вал совершил $9/16 = 0,5625$ оборота или другими словами – повернулся на 202 градуса. При этом, если у энкодера нет индексной метки, нельзя узнать абсолютное положение вала – подсчитывая метки можно только узнать, на какой угол повернулся вал с того момента, когда мы начали их подсчитывать.

Задание на подготовку

1. Используя устройства, входящие в состав стенда, разработайте схему исследования выходного напряжения ПЧ и сигналов инкрементального энкодера. Для этого предусмотрите в схеме следующее:

- на выходе ПЧ подключите группу датчиков для измерения фазных токов и линейных напряжений электродвигателя;
- в качестве нагрузки ПЧ следует использовать асинхронный двигатель с *короткозамкнутым ротором* М4, обмотки статора электродвигателя следует соединить в *треугольник*;
- обязательно подключение тормозного резистора R_T к выводам «Br₊» и «Br₋» преобразователя частоты.

2. В этой работе большое значение имеет точность измерения временных отрезков между разными событиями. Чтобы отмерить промежуток времени на осциллограмме в программе «PowerGraph» достаточно просто прямо на графике выделить нужный фрагмент мышкой. В правой части окна программы будет отображена информация о выделенном фрагменте, включая его длительность.

Выполнение работы

1. Произведите монтаж разработанной схемы.
2. Подготовьте ПЧ к работе в режиме *стабилизации частоты выходного напряжения*. Для этого следует установить тумблер «Стабилизация» в положение «f». В этом режиме потенциометр «Задание» устанавливает частоту питающего напряжения. Текущее значение частоты во время работы можно увидеть на ЖК-панели ПЧ в правом верхнем углу.
3. Запустите на ПК программу «PowerGraph» и выведите на осциллограмму следующие сигналы:
 - ток фазы А;
 - линейное напряжение АВ;
 - скорость вращения электродвигателя; сигналы энкодера А и В.
4. Убедитесь, что для каналов напряжения и каналов энкодера **отключена** цифровая обработка сигналов. Для этого нужно открыть настройки канала, нажав на стрелочку рядом с номером канала в левой части программы и выбрав пункт меню «Настройки...». Затем на вкладке «Обработка RT» в выпадающем списке «Функция» выбрать вариант «Off».
5. Установите максимальную частоту оцифровки каналов.
6. Перед началом работы установите регуляторы задания ПЧ и ТП в положение «0».

7. Проведите эксперименты при изменении частоты напряжения двигателя в диапазоне от 0 Гц до 50 Гц с шагом 10 Гц.

Для каждой снимаемой точки:

- в программе «PowerGraph» установите такой масштаб по времени, чтобы импульсы энкодера были чётко различимы;
- сохраните осциллограмму;
- установите такой масштаб по времени, чтобы импульсы ШИМ в напряжении были чётко различимы;
- сохраните осциллограмму.

8. Остановите электродвигатель, смените полярность задания и повторите эксперименты из п. 7.

9. Оформите отчёт и сформулируйте выводы по работе. По осциллограммам напряжения определите частоту ШИМ. По осциллограммам сигналов энкодера и известной скорости определите количество меток энкодера.

Контрольные вопросы

1. Что такое инкрементальный энкодер? Как он устроен?
2. Как по снятым осциллограммам определить количество меток энкодера?
3. Опишите принцип работы инвертора.
4. Что такое ШИМ? Как определить по осциллограммам частоту ШИМ?

[Вернуться к началу работы](#)

[Вернуться к содержанию](#)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМОГО ТРЕХФАЗНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы

Исследование сигналов синусно-косинусного вращающегося трансформатора, исследование работы рекуперативного преобразователя частоты.

Теоретическая вставка

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ), также называемый резольвером, может использоваться в электроприводах в качестве датчика положения ротора электрической машины.

Существуют различные конструкции СКВТ. Рассмотрим такой СКВТ, который состоит из неподвижного статора с двумя обмотками, расположенными под углом 90° друг к другу, и подвижного ротора, на котором также расположена обмотка.

Данная конструкция изображена на рис. 7.

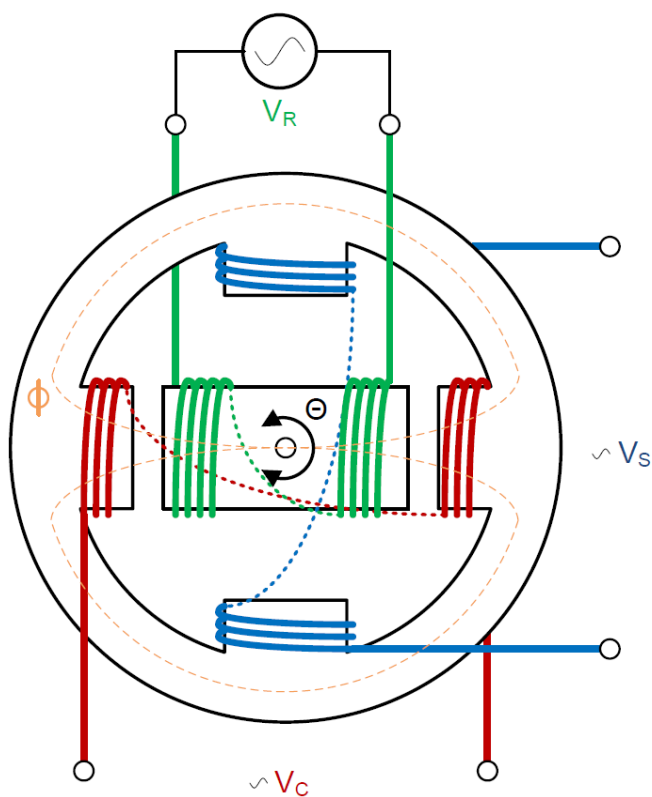


Рис. 7. Схематичное изображение СКВТ

При этом ротор СКВТ закреплён с ротором электрической машины.

Обмотка, расположенная на роторе, подключается к источнику переменного напряжения V_R высокой частоты (несколько кГц) и называется обмоткой возбуждения. Протекающий по этой обмотке ток приводит к появлению переменного магнитного поля, которое пересекает неподвижные обмотки и наводит в них ЭДС V_S и V_C . Эти ЭДС имеют такую же частоту, как и в обмотке возбуждения, а их амплитуда зависит от положения ротора:

$$\begin{cases} V_S \sim \sin \theta \\ V_C \sim \cos \theta \end{cases} \quad (3.1)$$

Таким образом, положение ротора электрической машины в самом простом случае можно определить, если измерить амплитуды сигналов V_S/V_C и взять арктангенс от получившегося значения.

На рисунках 8, 9, 10 показаны сигналы СКВТ при положениях ротора 0, 60 и 300 градусов.

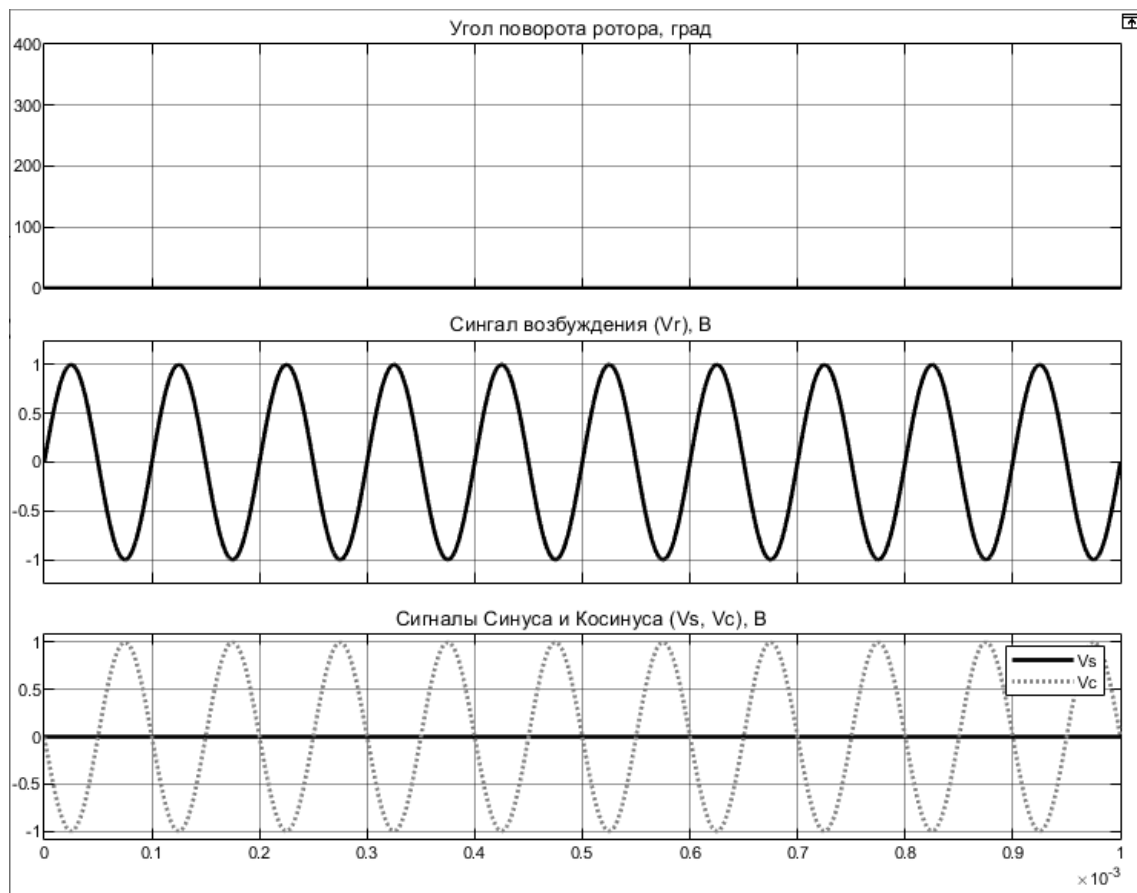


Рис. 8. Сигналы СКВТ при угле ротора 0 градусов

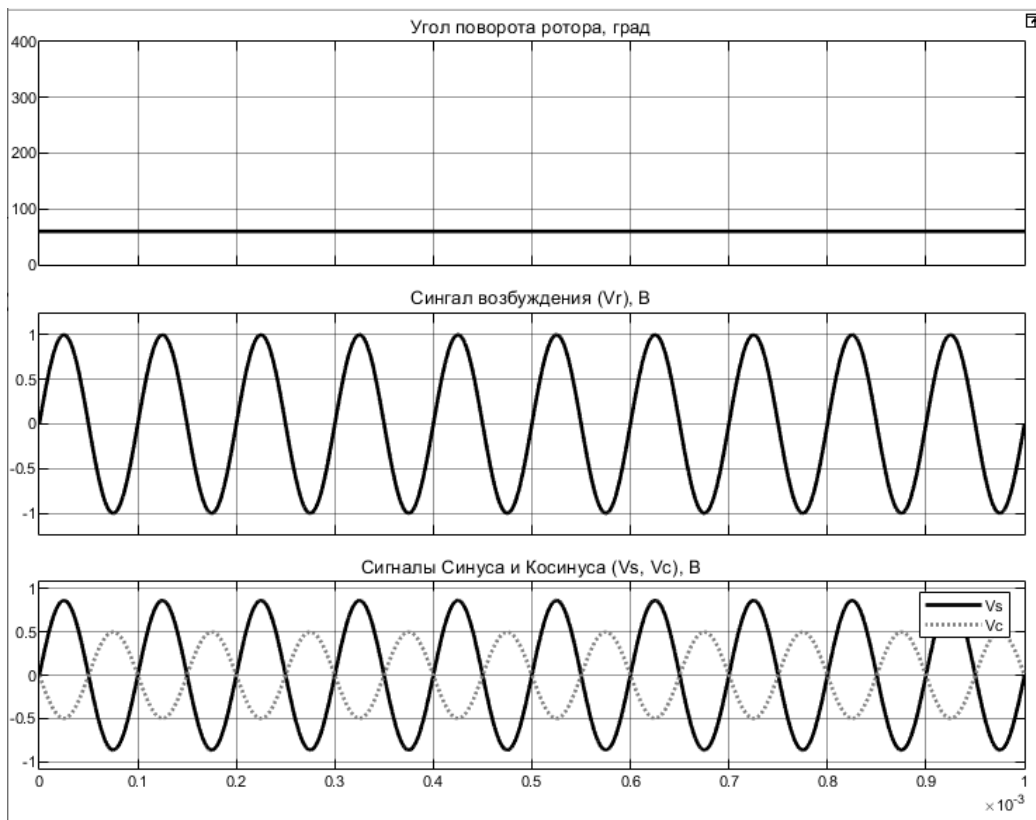


Рис. 9. Сигналы СКВТ при угле ротора 60 градусов

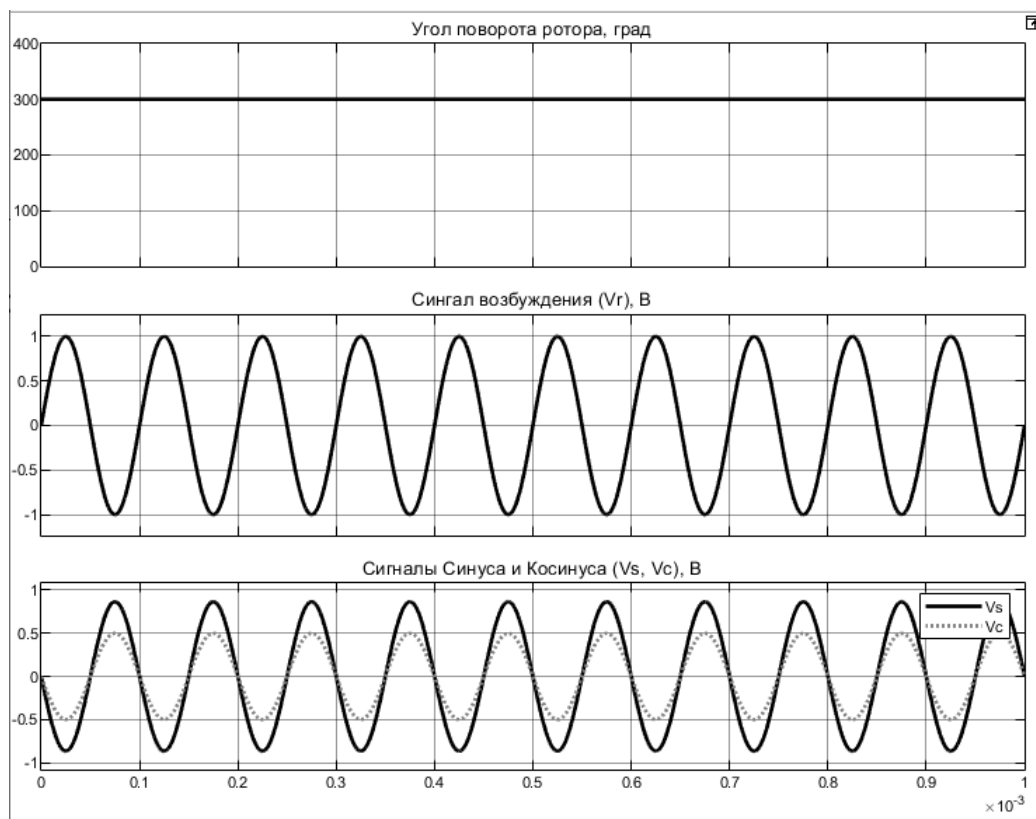


Рис. 10. Сигналы СКВТ при угле ротора 300 градусов

На рисунке 11 показано изменение сигналов СКВТ при вращении ротора.

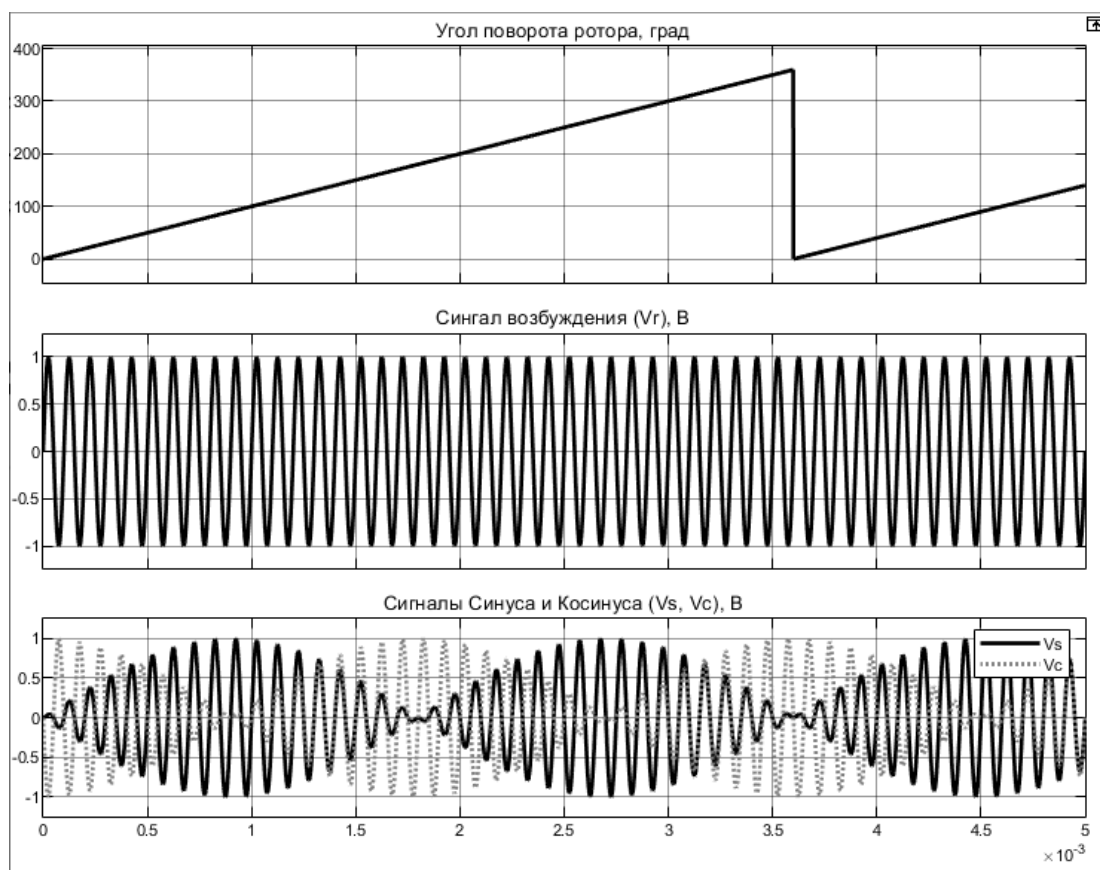


Рис. 11. Сигналы СКВТ при вращении ротора

Рекуперативный преобразователь частоты вместо диодного неуправляемого выпрямителя имеет в своём составе активный выпрямитель. Структурная схема такого ПЧ представлена на рис. 12.

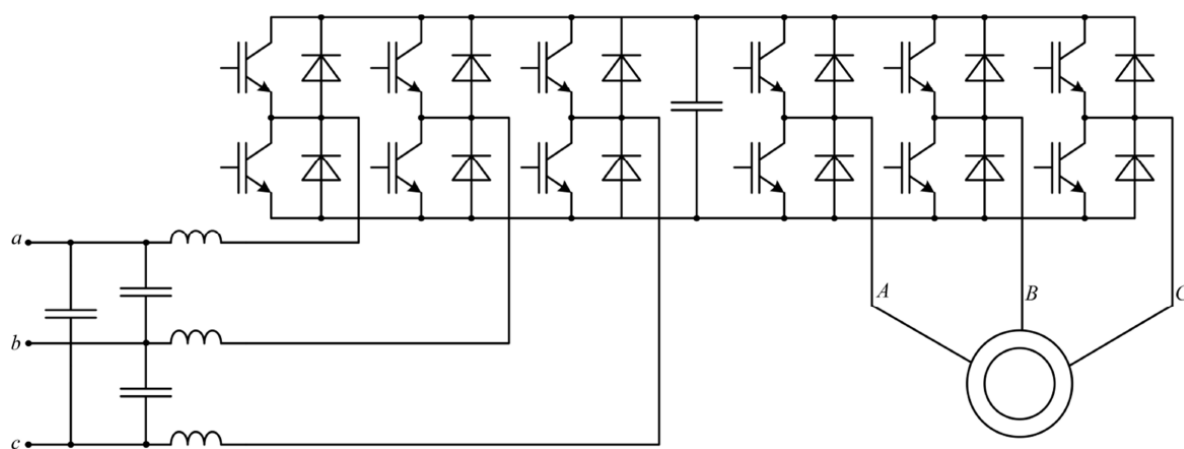


Рис. 12. Структурная схема рекуперативного ПЧ с активным выпрямителем

За счёт этого преобразователь имеет возможность возвращать энергию в сеть, когда электродвигатель работает в тормозном режиме.

Задание на подготовку

Используя устройства, входящие в состав стенда, разработайте схему исследования влияния активного выпрямителя на сеть и работы СКВТ. Для этого предусмотрите в схеме следующее:

- на входе ПЧ подключите группу датчиков для измерения фазных токов и линейных напряжений;
- предусмотрите подключение нагрузочного электродвигателя (ДПТ) к преобразователю;
- предусмотреть измерение тока и напряжения сети, питающей преобразователь частоты, регулирование нагрузки, измерение сигналов синусно-косинусного вращающегося трансформатора.

Выполнение работы

1. Произведите монтаж разработанной схемы.
2. Проведите эксперименты при -100 , -50 , 0 , 50 и 100% от максимальной нагрузки, обеспечиваемой нагрузочной машиной. Зафиксируйте формы токов фаз и напряжения в двигательном и генераторном режимах. Определите частоту возбуждения синусно-косинусного вращающегося трансформатора и дайте пояснения по его выходным сигналам и принципу извлечения информации о положении. По частоте пульсаций синусной и косинусной компонент определите скорость вращения электродвигателя.
3. Оформите отчёт и сформулируйте выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое СКВТ? Опишите принцип работы данного устройства.
2. Как определить угол положения ротора, если известны графики изменения сигналов?
3. Как определить частоту возбуждения СКВТ?

[Вернуться к началу раздела](#)
[Вернуться к содержанию](#)

РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

Цель работы

В работе рассмотрены варианты взаимодействия с программируемым логическим контроллером и подключенными к нему периферийными устройствами. В рамках выполнения работы будет освоено взаимодействие со специализированной средой программирования CoDeSys v2.3, а также получены навыки разработки программного обеспечения (ПО) программируемого логического контроллера ПЛК 110 на различных языках программирования.

Настройка работы с ПЛК

Для работы с ПЛК потребуется ПО CoDeSys v2.3 ([ссылка на ПО](#)). Перед тем, как начать любую работу с ПЛК, необходимо правильно настроить связь с ним. Для настройки связи с ПЛК необходимо произвести следующие действия.

1. Скачать так называемый target-файл, который используется для оптимизации процесса настройки, с сайта производителя ([ссылка на target-файл](#)) и распаковать архив. Внутри папки, в которую была произведена распаковка архива, должна появиться папка с названием модели требуемого ПЛК внутри (в данном случае это PLC110.30_m_v2). Внутри папки с названием требуемой модели необходимо открыть файл «Install-Target». В открывшемся окне необходимо нажать «Open», найти папку, из которых был запущен установщик и открыть файл «plc.tnf» (рис. 13).

Слева в разделе «Possible Targets» должен появиться файл целевой платформы контроллера. Необходимо выделить файл при помощи левой кнопки мыши и нажать «Install». При успешной установке в разделе «Install Targets» в выпадающем списке «Open» должна появиться надпись установленной модели контроллера (рис. 14). После успешной установки окно программы можно закрыть.

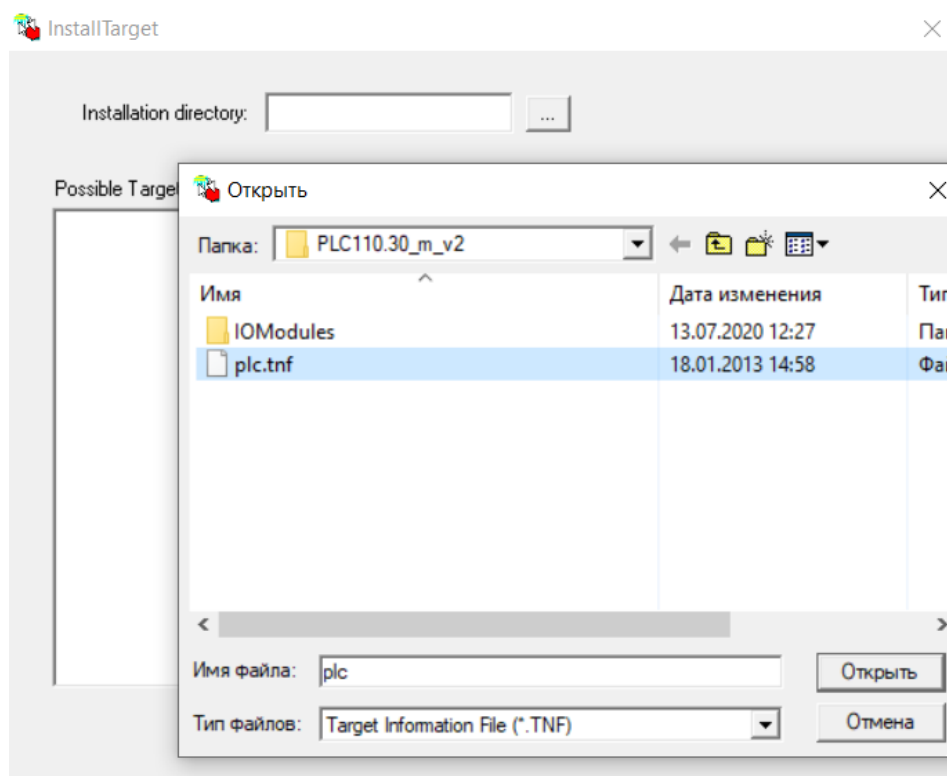


Рис. 13. Окно «InstallTarget»

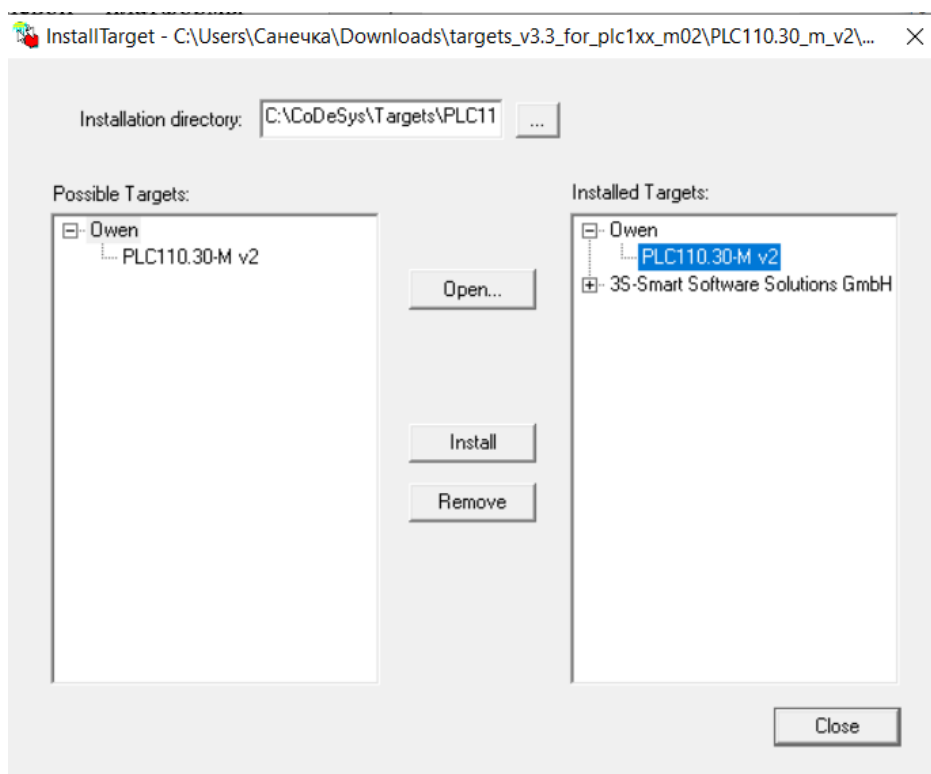


Рис. 14. Окно «InstallTarget» при успешной установке

2. После успешной установки target-файла можно приступить к запуску ПО CoDeSys v2.3. Для создания проекта необходимо в меню

нажать на вкладку «Файл» и выбрать пункт «Создать», после чего программа предложит произвести настройку целевой платформы, в которой нужно выбрать конфигурацию, для этого необходимо раскрыть выпадающий список и выбрать требуемую модель ПЛК (рис. 15), после чего необходимо нажать «ОК».

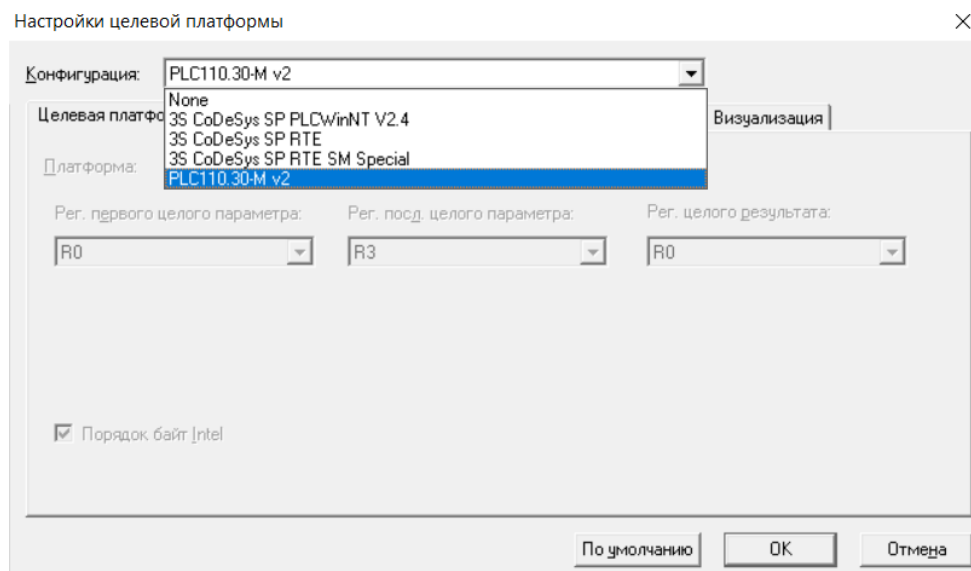


Рис. 15. Окно настройки целевой платформы

После успешного выбора конфигурации программа предложит создать новый программный компонент (рис. 16). Имя нового программного компонента «PLC_PRG» менять нельзя. В разделе «Тип POU» необходимо выбрать «Программа», а в разделе «Язык реализации» можно выбрать наиболее подходящий язык и нажать «ОК».

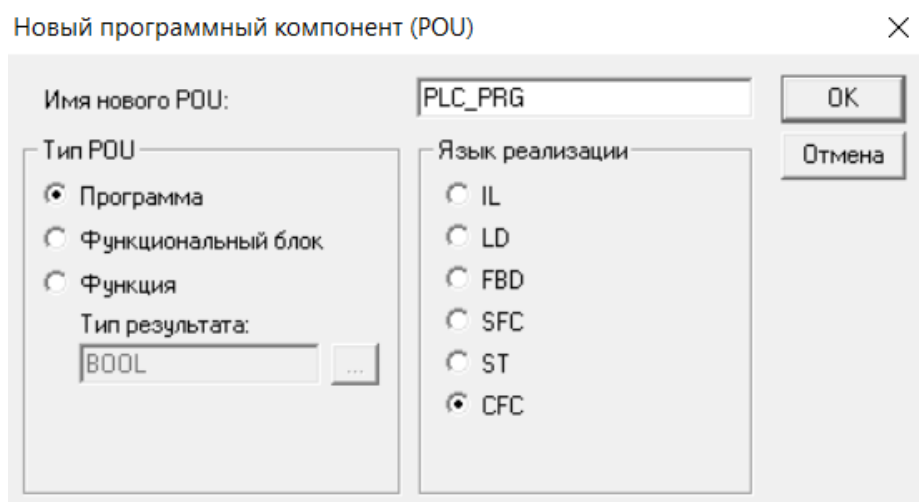


Рис. 16. Окно создания нового программного компонента

3. После успешного создания программного компонента можно приступить к настройке линии связи канала передачи информации. Для настройки связи в рамках данной работы будет использоваться интерфейс USB. Перед настройкой подключения по USB необходимо скачать драйвер с сайта производителя ([ссылка на драйвер](#)). После подключения ПЛК к свободному USB-порту на компьютере необходимо подать питание на ПЛК с помощью включения автоматического выключателя QF1 и переключателя «ПЛК» на лицевой панели лабораторного стенда. После подключения необходимо зайти на компьютере в «Диспетчер устройств» и открыть вкладку «Порты (COM и LPT)». Номер появившегося COM-порта после подключения к ПЛК необходимо запомнить. Далее необходимо в меню нажать на вкладку «Онлайн» и выбрать пункт «Параметры связи». В открывшемся окне необходимо в разделе «Gateway» выбрать из выпадающего списка тип соединения «Local» и нажать OK (рис. 17)

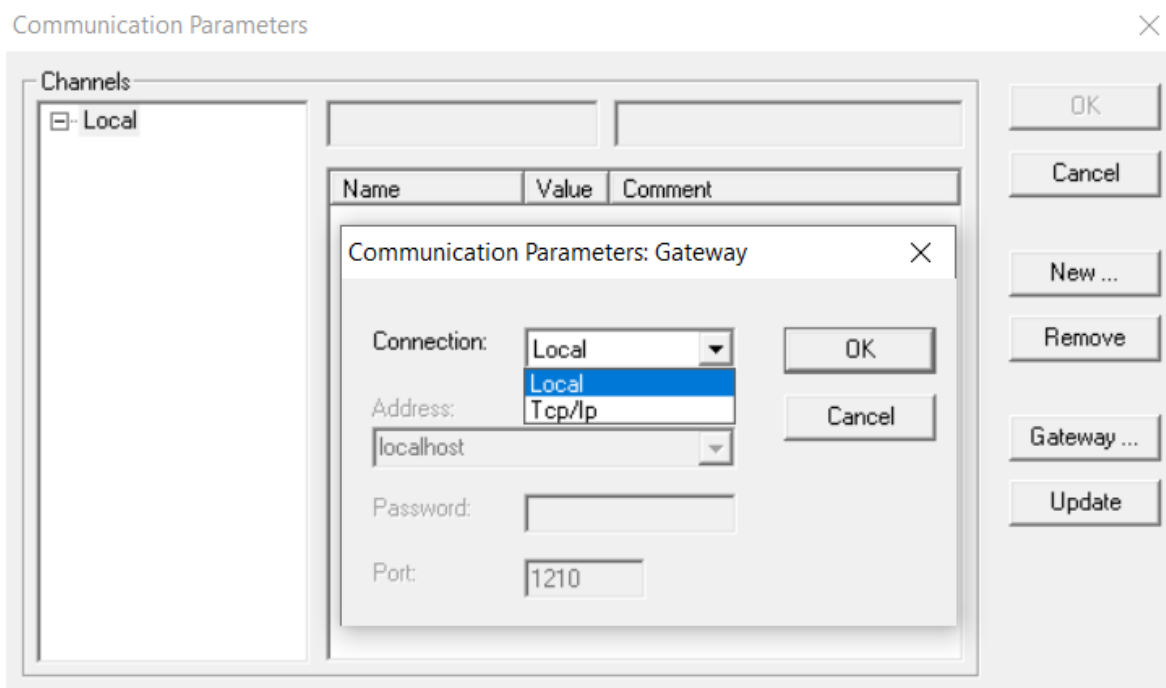


Рис. 17. Окно настройки соединения – часть 1

Далее в этом же окне необходимо в разделе «New» задать произвольное имя канала, выбрать «Serial (RS232)» и нажать «OK» (рис. 18).

Далее в этом же окне необходимо выставить в графе «Port» номер COM-порта, который отвечает за соединение с ПЛК, в графе «Baudrate» необходимо выставить скорость передачи данных 19200 кбит/с. Остальные настройки можно оставить по умолчанию и необходимо нажать «OK» (рис. 19).

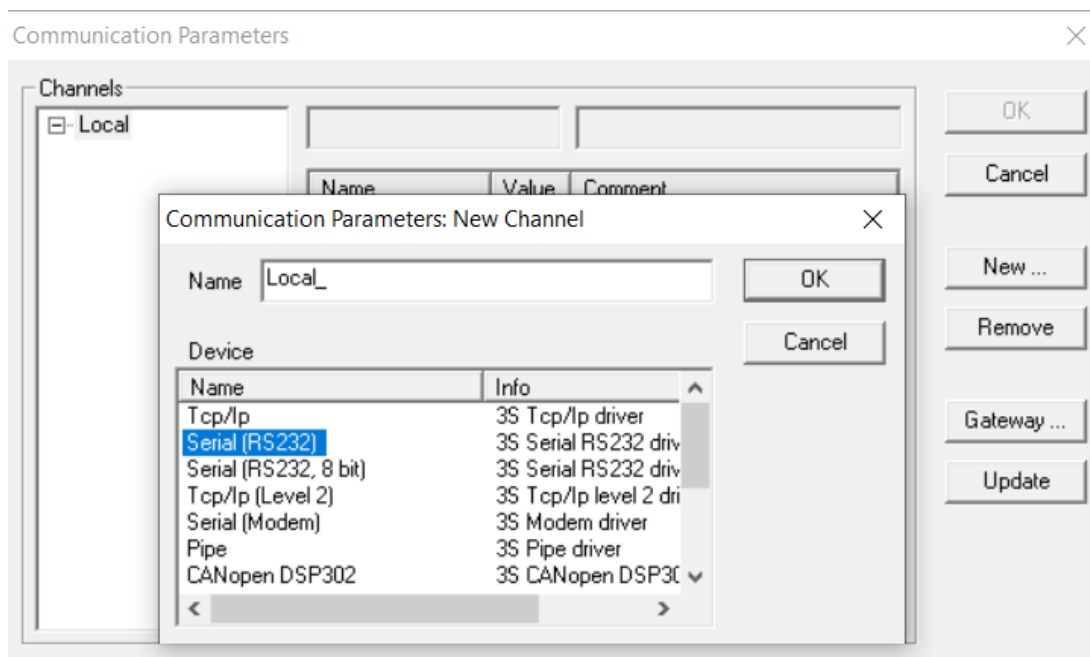


Рис. 18 Окно настройки соединения – часть 2

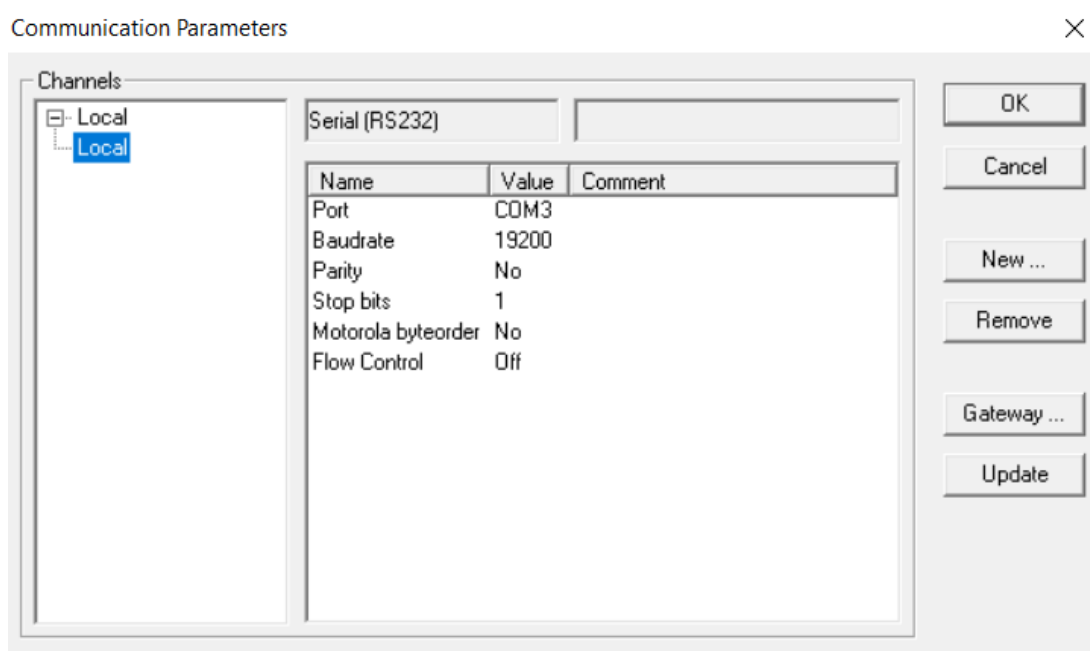


Рис. 19. Окно настройки соединения – часть 3

4. После настройки линии связи можно проверить, успешна ли она была произведена. Для этого необходимо в меню нажать на вкладку «Онлайн» и выбрать пункт «Подключение», если все настройки были произведены верно, то будет предложено загрузить новую программу. Также при успешном подключении в нижнем правом углу ПО CoDeSys v2.3 должна появиться надпись «Онлайн:» и имя канала, которое было указано ранее (рис. 20).

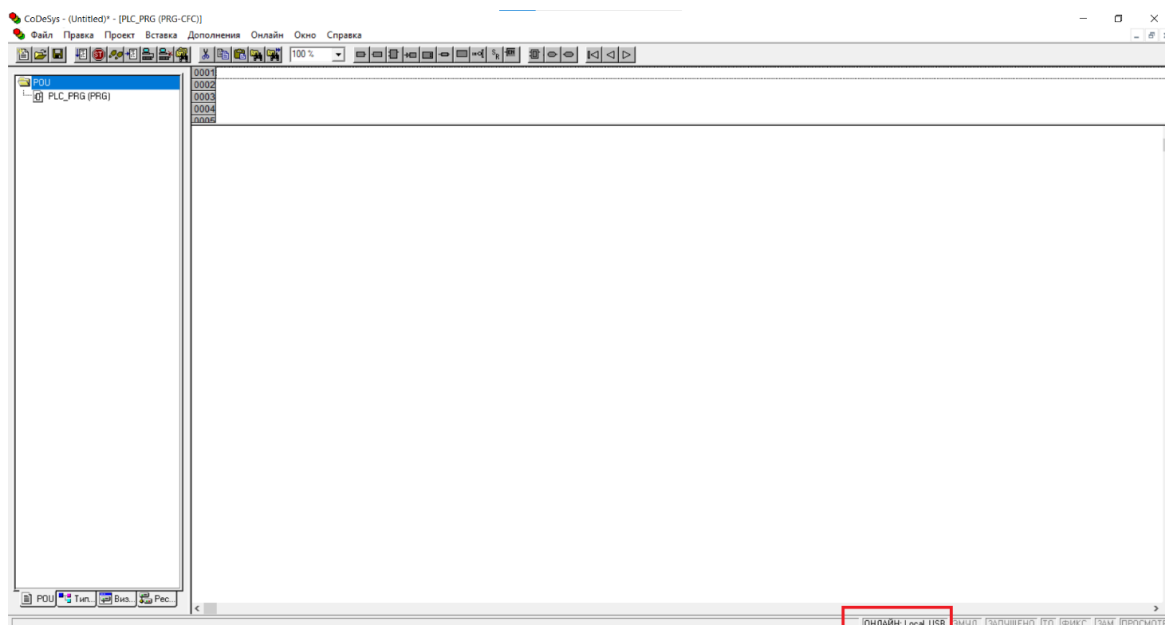


Рис. 20. Окно настройки соединения – часть 4

После успешной настройки связи с ПЛК рекомендуется настроить входы/выходы ПЛК. Для этого необходимо в организаторе объектов нажать на вкладку «Ресурсы» и выбрать пункт «Конфигурация ПЛК» (рис. 21). В открывшемся окне необходимо присвоить соответствующему входу/выходу соответствующую переменную в программе. Важно отметить, что в рамках данной работы входы ПЛК IX0.0, IX0.1, IX1.0.0 и IX1.0.1 подключены к кнопкам, которые находятся на лицевой панели лабораторного стенда, DI1, DI2, DI3 и DI4 соответственно, а выходы ПЛК Q2.0, Q2.1, Q2.2, Q2.3 подключены к лампочкам, которые находятся на лицевой панели лабораторного стенда, DO1, DO2, DO3 и DO4 соответственно.

Также в случае отсутствия возможности подключения к ПЛК можно запустить и проверить программу в режиме эмуляции. Для этого необходимо в меню нажать на вкладку «Онлайн», выбрать пункт «Режим эмуляции» и затем «Старт». В режиме эмуляции для изменения значений переменных необходимо нажать на них двойным кликом левой кнопки мыши, после чего в меню нажать на вкладку «Онлайн» и выбрать пункт «Записать значения».

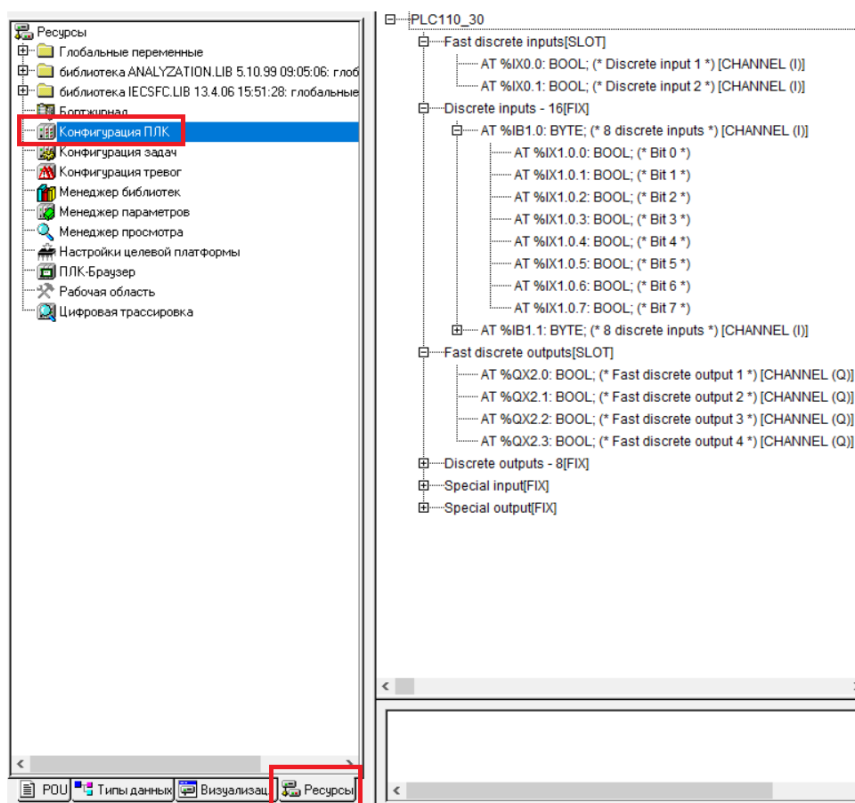


Рис. 21. Окно настройки конфигурации ПЛК

Практическое задание №1

В рамках знакомства студентов с языками программирования ПЛК необходимо реализовать следующий алгоритм работы на языках IL, ST, LD, FBD, SFC и CFC.

Система измерения уровня воды в бассейне. В системе присутствуют 1 датчик наличия воды в бассейне и 3 датчика уровня воды в бассейне. Датчики уровня воды расположены на высоте 1, 2 и 3 метра относительно дна бассейна. За срабатывание датчика наличия воды в бассейне необходимо принять кнопку DI1, при наличии воды в бассейне должна гореть лампочка DO1. За срабатывания датчика уровня на высоте 1 метр принять кнопку DI4, при срабатывании этого датчика должна гореть лампочка DO4. За срабатывания датчика уровня на высоте 2 метра принять кнопку DI3, при срабатывании этого датчика должна гореть лампочка DO3. За срабатывания датчика уровня на высоте 3 метра принять кнопку DI2, при срабатывании этого датчика должна гореть лампочка DO2. Если воды в бассейне нет, то лампочки не должны гореть, также если не сработал датчик уровня на высоте 1 метр, то лампочки, соответствующие датчикам уровня на высоте 2 и 3 метра, не должны гореть.

- Реализация на языке IL. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную в лист. 1

Листинг 1. Реализация практического задания №1 на языке IL для ПЛК

LD	TRUE
AND	DI1
ST	D01
LD	DI1
AND	DI4
ST	D04
LD	D04
AND	DI3
ST	D03
LD	D03
AND	DI2
ST	D02

- Реализация на языке ST. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную в лист. 2.

Листинг 2. Реализация практического задания №1 на языке ST для ПЛК

IF DI1 THEN
D01:=TRUE;
IF DI4 THEN
D04:=TRUE;
IF DI3 THEN
D03:=TRUE;
IF DI2 THEN
D02:=TRUE;
ELSE
D02:=FALSE;
END_IF;
ELSE
D02:=FALSE;
D03:=FALSE;
END_IF;
ELSE
D02:=FALSE;
D03:=FALSE;
D04:=FALSE;
END_IF;
ELSE
D01:=FALSE;
D02:=FALSE;
D03:=FALSE;
D04:=FALSE;
END_IF;

- Реализация на языке LD. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную на рис. 22.

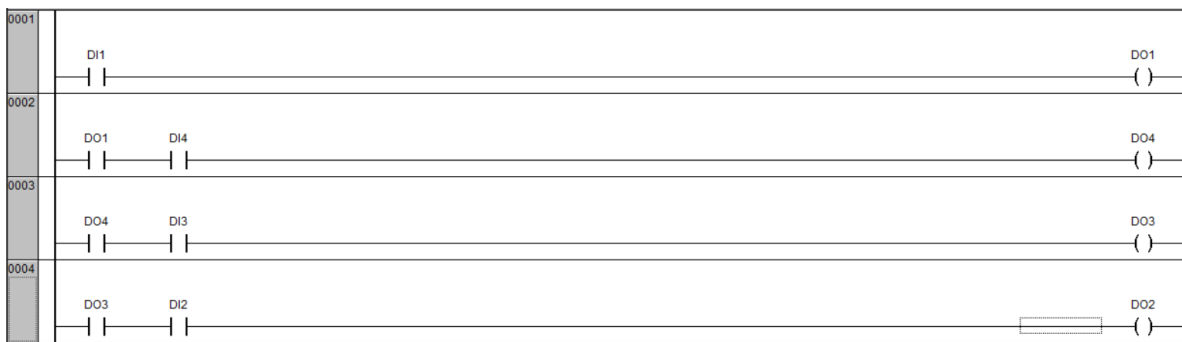


Рис. 22. Реализация практического задания №1 на языке LD для ПЛК

- Реализация на языке FBD. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную на рис. 23.

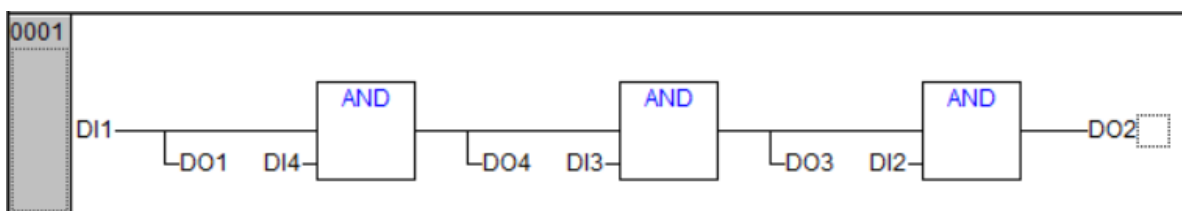


Рис. 23. Реализация практического задания №1 на языке FBD для ПЛК

- Реализация на языке CFC. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, presented on рис. 24.

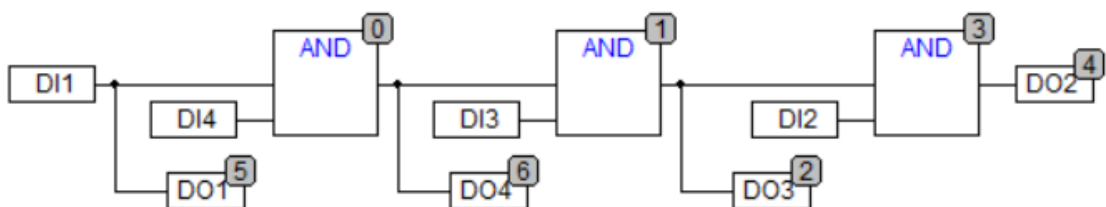


Рис. 24. Реализация практического задания №1 на языке CFC для ПЛК

Практическое задание №2

Необходимо реализовать следующий алгоритм работы на языках ST, LD и FBD.

Система управления подачи горячей воды. В системе присутствует котёл и насос. После подачи оператором команды «Пуск» сначала включается насос, в течение 5 секунд прогоняет некоторое количество воды, затем включается котёл. После подачи оператором команды «Стоп» выключается котёл, а насос работает ещё в течение 7 секунд. Необходимо предусмотреть аварийное отключение, при котором котёл и насос отключаются сразу и включается аварийная сигнализация. За команду «Пуск» необходимо принять кнопку DI3, за команду «Стоп» кнопку DI1, за аварийное отключение кнопку DI2. При работе насоса должна гореть лампочка DO3, при работе котла лампочка DO4, при аварийной сигнализации лампочка DO2.

- Реализация на языке LD. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную на рис. 25. Также необходимо объявить локальные переменные с помощью команд, представленных в лист. 3.

Листинг 3. Объявление локальных переменных для реализации практического задания №2 на языке LD для ПЛК

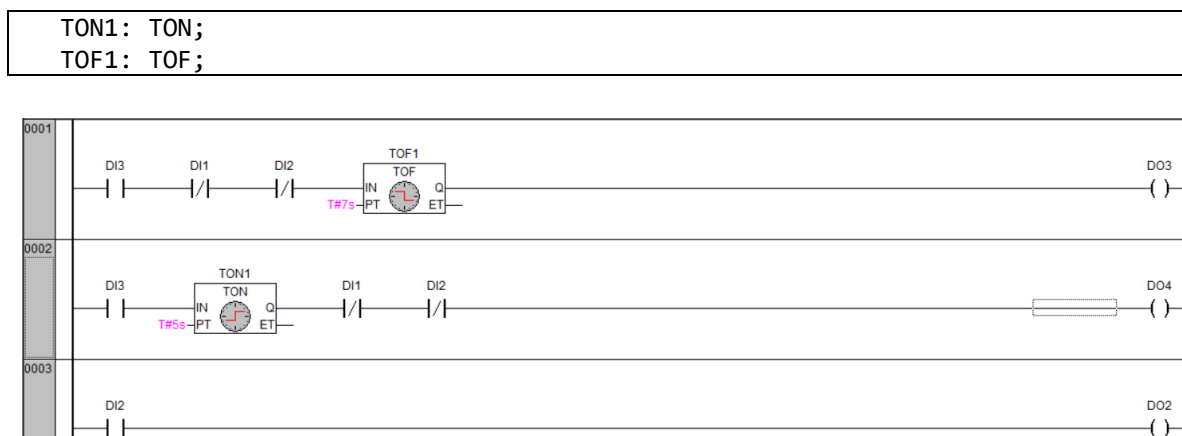


Рис. 25. Реализация практического задания №2 на языке LD для ПЛК

- Реализация на языке ST. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную в лист. 5. Также необходимо объявить локальные переменные с помощью команд, представленных в лист. 4.

**Листинг 4. Объявление локальных переменных для реализации
практического задания №2 на языке ST для ПЛК**

```
TON1: TON;  
TOF1: TOF;
```

Листинг 5. Реализация практического задания №2 на языке ST для ПЛК

```
TOF1(IN:=NOT DI1, PT:=T#7s);  
TON1(IN:=DI3, PT:=T#5s);  
  
IF NOT DI3 THEN  
D03:=FALSE;  
D04:=FALSE;  
END_IF;  
  
IF DI3 AND NOT DI1 THEN  
D03:=TRUE;  
D04:=TON1.Q;  
D02:=FALSE;  
END_IF;  
  
IF DI1 THEN  
D04:=FALSE;  
D03:=TOF1.Q;  
D02:=FALSE;  
END_IF;  
  
IF DI2 THEN  
D03:=FALSE;  
D04:=FALSE;  
D02:=TRUE;  
END_IF;  
  
IF NOT DI2 THEN  
D02:=FALSE;  
END_IF;
```

- Реализация на языке FBD. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную на рис. 26. Также как и в прошлый раз, необходимо объявить локальные переменные с помощью команд, представленных в лист. 6.

**Листинг 6. Объявление локальных переменных для реализации
практического задания №2 на языке FBD для ПЛК**

```
TON1: TON;  
TOF1: TOF;
```

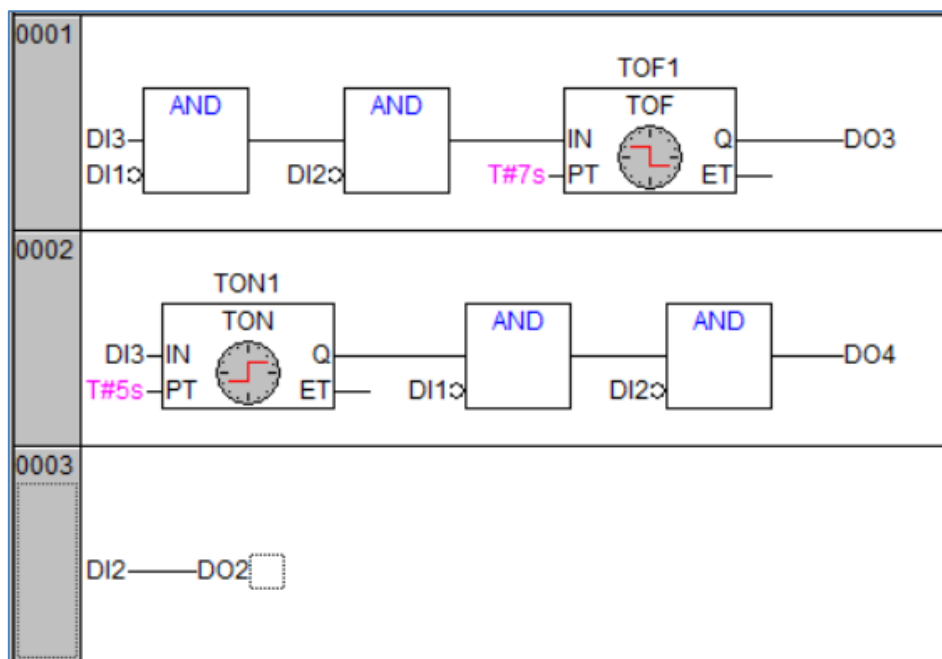


Рис. 26. Реализация практического задания №2 на языке FBD для ПЛК

Практическое задание №3

Необходимо реализовать следующий алгоритм работы на языке CFC.

Система подсчета количества машин на парковке.

На въезде и на выезде с парковки имеются по два оптических датчика для исключения ситуации с подсчетом пешеходов. С помощью лампочек требуется показывать количество машин на парковке в формате четырехбитного числа, где лампочка DO4 – младший бит числа, а лампочка DO1 старший бит числа. Например, если на парковке находятся 5 машин, что в двоичной системе счисления означает число 0101, то соответственно должны гореть лампочки DO2 и DO4. Максимальная вместимость парковки – 15 машиномест, возможность переполнения учитывать не требуется. За срабатывание оптических датчиков на въезде принять кнопки DI1 и DI2, за срабатывание оптических датчиков на выезде принять кнопки DI3 и DI4

- Реализация на языке CFC. Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную на рис. 27. Также необходимо объявить локальные переменные с помощью команд, представленных в лист. 7.

**Листинг 7. Объявление локальных переменных для реализации
практического задания №3 на языке CFC для ПЛК**

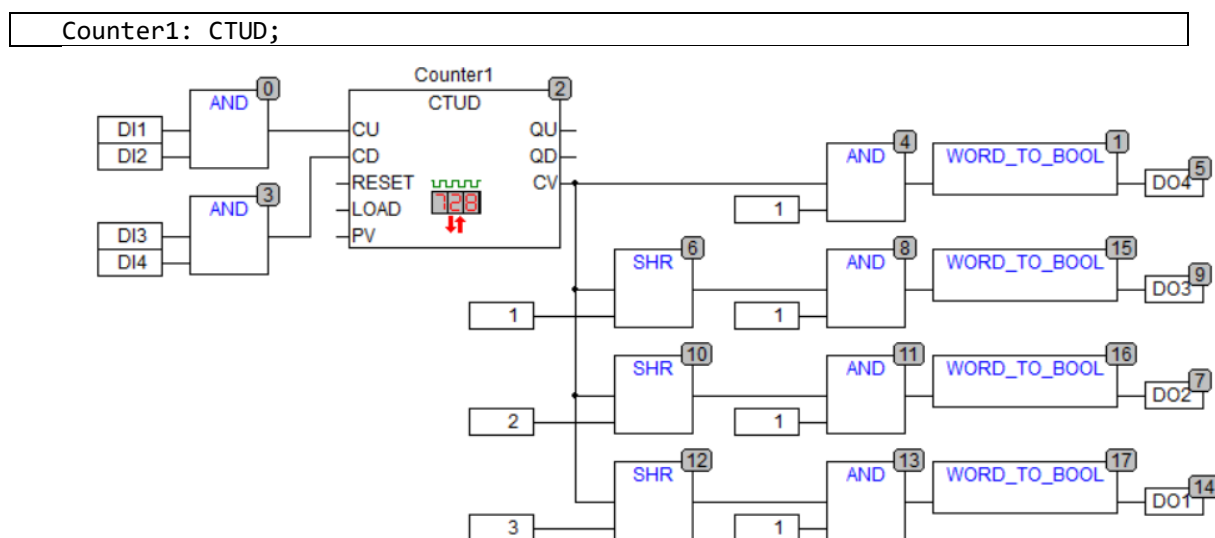


Рис. 27. Реализация практического задания №3 на языке CFC для ПЛК

[Вернуться к началу работы](#)

[Вернуться к содержанию](#)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Цель работы

В данной работе рассмотрены принципы взаимодействия с преобразователем частоты ПЧВ1, его настройка и параметрирование, а также работа с его встроенным ПЛК.

Настройка работы с ПЧ

Перед тем как начать работу с внутренним ПЛК ПЧ рекомендуется запустить двигатель напрямую от ПЧ с помощью кнопки «ПУСК/РУЧН.» на лицевой панели ПЧ предварительно подав питание на ПЧ с помощью включения автоматического выключателя QF2 и убедившись, что индикатор «СЕТЬ» на лицевой панели ПЧ горит, а индикаторы «ЗАЩИТА» и «АВАРИЯ» не горят. С помощью вращения потенциометра на лицевой панели ПЧ можно проверить, что выходная частота изменяется.

Для дальнейшей настройки ПЧ можно было бы воспользоваться кнопкой «МЕНЮ» на лицевой панели ПЧ, но для удобства и экономии времени будет рассмотрена настройка ПЧ с помощью специального ПО «Универсальный конфигуратор ПЧВ». Для настройки связи с ПЧ необходимо произвести следующие действия.

1. Связь ПЧ с компьютером будет осуществляться по интерфейсу RS-485 по протоколу ModbusRTU, поэтому необходимо компьютер с помощью USB подключить к преобразователю интерфейсов AC4. После подключения необходимо зайти на компьютере в «Диспетчер устройств» и открыть вкладку «Порты (COM и LPT)». Номер появившегося COM-порта после подключения к преобразователю интерфейсов AC4 необходимо запомнить.

2. Необходимо скачать с сайта производителя само ПО «Универсальный конфигуратор ПЧВ» и установить его ([ссылка на ПО](#)). Далее необходимо настроить сетевые параметры ПЧ, для этого на лицевой панели нажать на кнопку «МЕНЮ» 2 раза и с помощью кнопок «ВВЕРХ», «ВНИЗ» и «ВВОД» выставить параметры, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Настройка сетевых параметров ПЧ		
№	Значение	Комментарий
8–30	2	Протокол. 0 – Внутренний протокол ПЧВ; 2 – Modbus.
8–31	1	Адрес для шины. [1 – 247] – диапазон адреса шины ПЧВ
8–32	3	Скорость обмена данными (0 – 2400; 1 – 4800; 2 – 9600; 3 – 19200; 4 – 38400 бод/с)
8–33	2	Контроль четности и стоп-бит: 0 – проверка на четность; 1 – проверка на нечетность; 2 – нет контроля четности, 1 стоп-бит; 3 – нет контроля четности, 2 стоп-бита.

3. Необходимо открыть ПО «Универсальный конфигуратор ПЧВ». В открывшемся окне необходимо нажать на кнопку «Добавить прибор», далее необходимо в соответствии с рис. 28 выставить все необходимые параметры в открывшемся окне.

Рис. 28. Настройка параметров связи с ПЧ

При успешном подключении должно появиться дерево групп параметров для ПЧ (рис. 29). Параметры каждой группы отображаются во вкладке «Параметры».

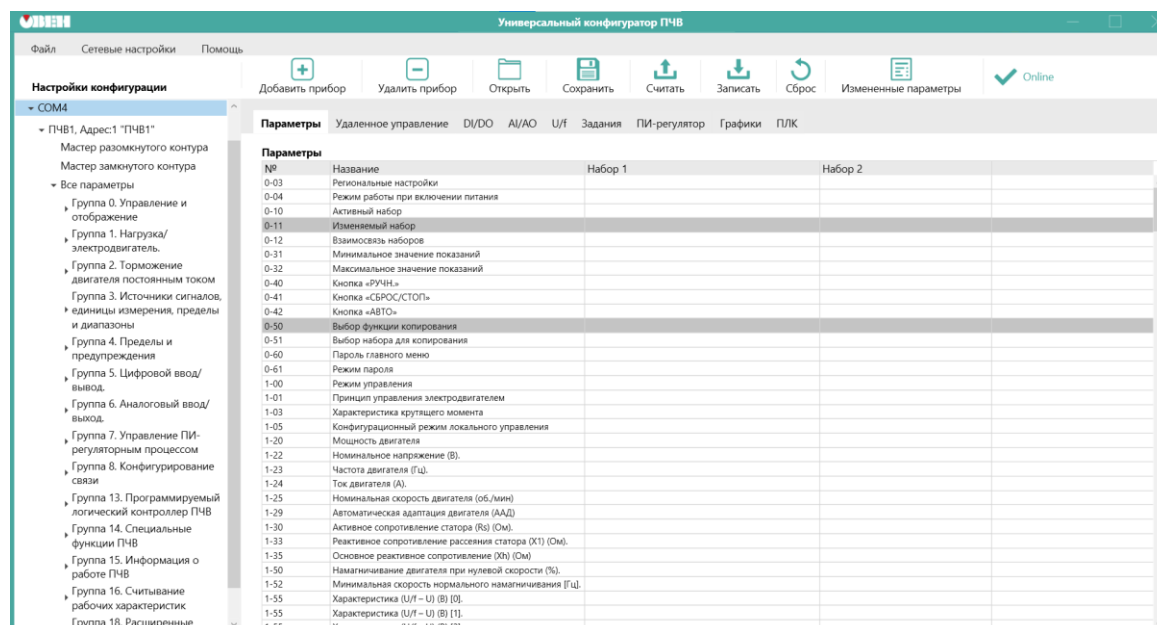


Рис. 29. Вид дерева групп после успешного подключения

Необходимо нажать на вкладку «COM4» или «ПЧВ1» и нажать на кнопку «Считать». В данном случае конфигуратор считывает параметры всех групп. Если нужно считать параметры какой-то одной группы, то необходимо в дереве групп выбрать нужную группу и так же нажать на кнопку «Считать». Аналогично работает и принцип записи параметров с помощью кнопки «Записать». Для управления ПЧ с помощью компьютера обязательно нужно выставить в одном из параметров 3–15...3–17 в качестве источника задания интерфейс RS-485

Практическое задание №1

В рамках знакомства студентов с ПЧВ1 необходимо реализовать следующий алгоритм работы.

Система управления потоком воздуха. Необходимо спроектировать систему ручного управления потоком воздуха. В качестве регулятора скорости необходимо использовать потенциометр на лицевой панели стенда Кл53.

Перед началом работ необходимо внести параметры ПЧ, как в табл. 2.

Таблица 2

Настройка параметров двигателя для 1 практического задания

№	Значение	Комментарий
1–20	2	Мощность двигателя (кВт / л.с.). 1 – 0,09/0,12; 2 – 0,12/0,16; 3 – 0,18/0,25; 4 – 0,25/0,33; 5 – 0,37/0,50; 6 – 0,55/0,75; 7 – 0,75/1,00; 8 – 1,10/1,50; 9 – 1,50/2,00; 10 – 2,20/3,00; 11 – 3,00/4,00; 12 – 3,70/5,00; 13 – 4,00/5,40; 14 – 5,50/7,50; 15 – 7,50/10,00; 16 – 11,00/15,00; 17 – 15,00/20,00; 18 – 18,50/25,00; 19 – 22,00/29,50; 20 – 30,00/40,00
1–22	220	Напряжение двигателя (В)
1–23	50	Частота двигателя (Гц)
1–24	0.46	Ток двигателя (А)
1–25	1400	Номинальная скорость двигателя (об/мин)

После внесения основных параметров необходимо провести автоматическую адаптацию, для этого необходимо на лицевой панели ПЧ нажать на кнопку «СТОП/СБРОС», выставить для параметра 1–29 значение «2» и нажать на лицевой панели ПЧ кнопку «ВВОД». На дисплее ПЧ должна появиться надпись «PUSH HAND», необходимо нажать кнопку «ПУСК/РУЧН» на лицевой панели ПЧ для запуска процесса автоматической адаптации. После успешного выполнения операции на дисплее должна появиться надпись «PUSH OK». Необходимо нажать кнопку «ВВОД».

Для успешного задания на ПЧ с помощью потенциометра Кл53 необходимо заполнить параметры ПЧ, как в табл. 3.

Таблица 3

Настройка параметров ПЧ для 1 практического задания

№	Значение	Комментарий
8–01	0	Место управления: 0 – цифровое управление и командное слово. 1 – только цифровой вход; 2 – только командное слово
3–15	1	Источник задания 1: 0 – сигнал задания не используется; 1 – аналоговый вход, кл. 53; 2 – аналоговый вход, кл. 60; 8 – импульсный вход, кл. 33; 11 – интерфейс RS-485; 21 – потенциометр ЛПО

Примечание: данную процедуру рекомендуется выполнять не с помощью конфигуратора, а напрямую с помощью меню ПЧ.

Далее необходимо нажать на кнопку «Записать» для групп, в которых производились изменения. После записи необходимо перейти во вкладку «Удаленное управление». В разделе «Источник задания» необходимо указать «Аналоговый вход 53», после чего можно нажать кнопку «Пуск» в разделе «Командное слово». Теперь, при вращении потенциометра должна меняться выходная частота ПЧ пропорционально углу поворота потенциометра.

Практическое задание №2

Необходимо реализовать следующий алгоритм работы двигателя.

Система управления внутрицеховой тележкой. Необходимо спроектировать систему автоматического управления тележкой с помощью внутреннего ПЛК ПЧ. В начале пути привод должен разогнаться до 10% от номинальной скорости, проехать на таком задании 5 секунд, после чего полностью разогнаться до номинальной скорости, проехать на номинальной скорости 10 секунд, после чего затормозиться до скорости 10% от номинальной, пробыть на ней 5 секунд и после чего полностью остановиться. Включаться привод должен с помощью ключа Кл18.

Перед настройкой самого внутреннего ПЛК необходимо заполнить параметры ПЧ, как указано в табл. 4.

Таблица 4

Настройка параметров ПЧ для 2 практического задания

№	Значение	Комментарий
3–10 [1]	10	Предустановленное задание, %
3–10 [2]	100	Предустановленное задание, %
3–15	11	Источник задания 1: 0 – сигнал задания не используется; 1 – аналоговый вход, кл. 53; 2 – аналоговый вход, кл. 60; 8 – импульсный вход, кл. 33; 11 – интерфейс RS-485; 21 – потенциометр ЛПО

Далее можно перейти к настройке самого внутреннего ПЛК, для этого необходимо перейти во вкладку «ПЛК». Для включения работы внутреннего ПЛК необходимо передвинуть ползунок «Режим ПЛК» в состояние «Вкл.». В графе «Событие запуска» и «Событие останова» необходимо выставить «TRUE» и «FALSE» соответственно. Работа с ПЛК заключается в создании блоков (рис. 30).

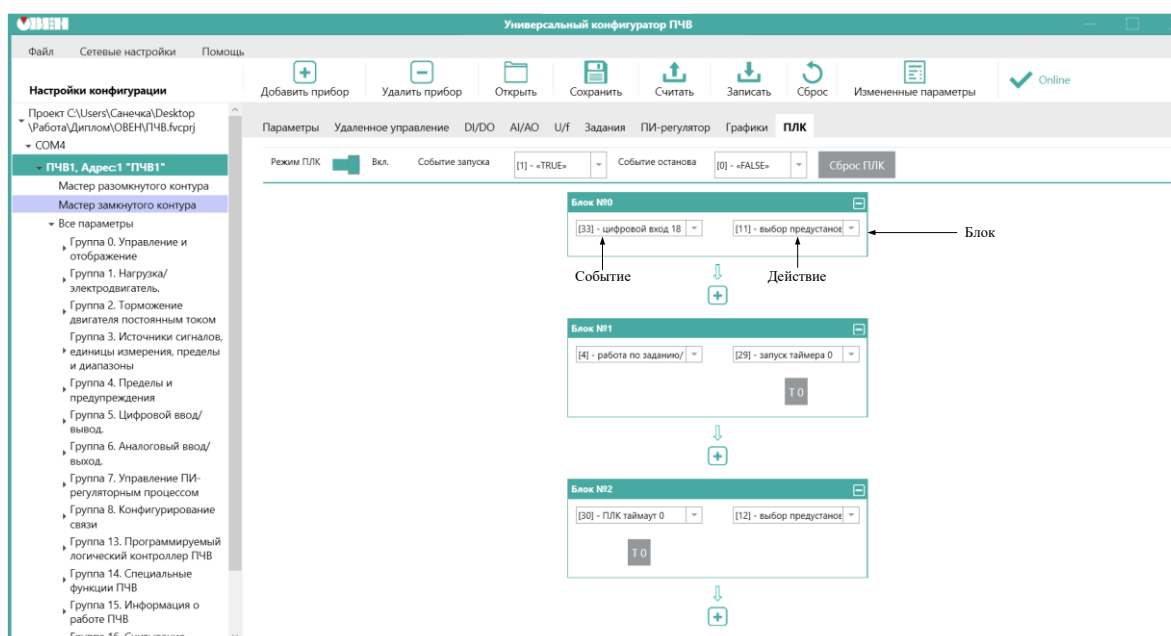


Рис. 30. Работа с блоками внутреннего ПЛК

Для реализации заданного алгоритма необходимо создать блоки как на рис. 31 и 32.

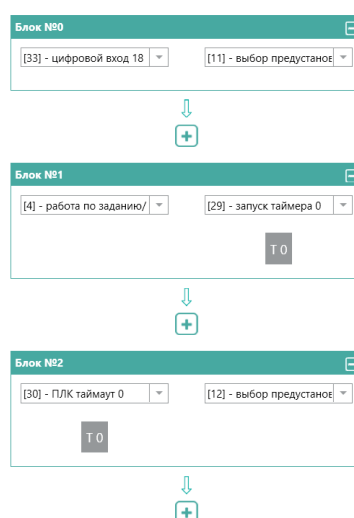


Рис. 31. Реализация практического задания №2 для работы с ПЧ – часть 1

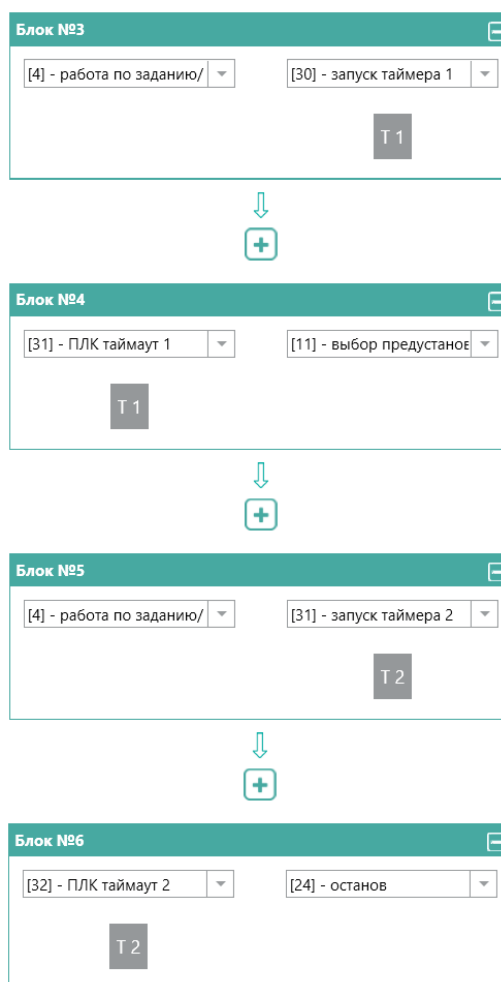


Рис. 32. Реализация практического задания №2 для работы с ПЧ – часть 2

После создания блоков необходимо загрузить все измененные группы параметров в ПЧ. Теперь при замыкании ключа Кл18 двигатель должен отрабатывать цикл. При завершении цикла или иных проблемах с запуском двигателя рекомендуется нажать на лицевой панели ПЧ на кнопку «СТОП/СБРОС», а затем обратно на кнопку «ПУСК/ДИСТ».

[Вернуться к началу работы](#)

[Вернуться к содержанию](#)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕНСОРНОЙ ПАНЕЛИ ОПЕРАТОРА

Цель работы

В данной работе будет рассмотрено взаимодействие с сенсорной панелью оператора СПК 107, изучены принципы работы со средой программирования CoDeSys v3.5, разработки ПО и средств визуализации.

Настройка работы с СПК

Перед тем, как начать любую работу с СПК, необходимо правильно настроить связь с ним. Для настройки связи с СПК необходимо произвести следующие действия.

1. Необходимо скачать с сайта производителя пакет таргет-файлов и версию ПО CoDeSys v3.5, соответствующие текущей прошивке СПК. Для того, чтобы узнать, какая прошивка у СПК, необходимо подать питание на СПК с помощью автоматического выключателя QF1 и переключателя СПК на лицевой панели стенда. Во время включения появится надпись «НАЖМИТЕ ТРИ РАЗА НА ЭКРАН ДЛЯ НАСТРОЙКИ», необходимо совершить в этот момент три нажатия на экран СПК, после чего появится сервисное меню, необходимо выбрать пункт «ЗАПУСТИТЬ КОНФИГУРАТОР». После загрузки, слева в верхнем углу будет указана версия прошивки.

2. После успешной установки пакета таргет-файла можно приступить к запуску ПО CoDeSys v3.5. После запуска программы необходимо нажать на кнопку «Новый проект...», будет предложено выбрать шаблон проекта, имя проекта и его расположение (рис. 33). Шаблон проекта необходимо выбрать «Стандартный проект», имя и расположение на усмотрение пользователя, после чего можно нажать «ОК».

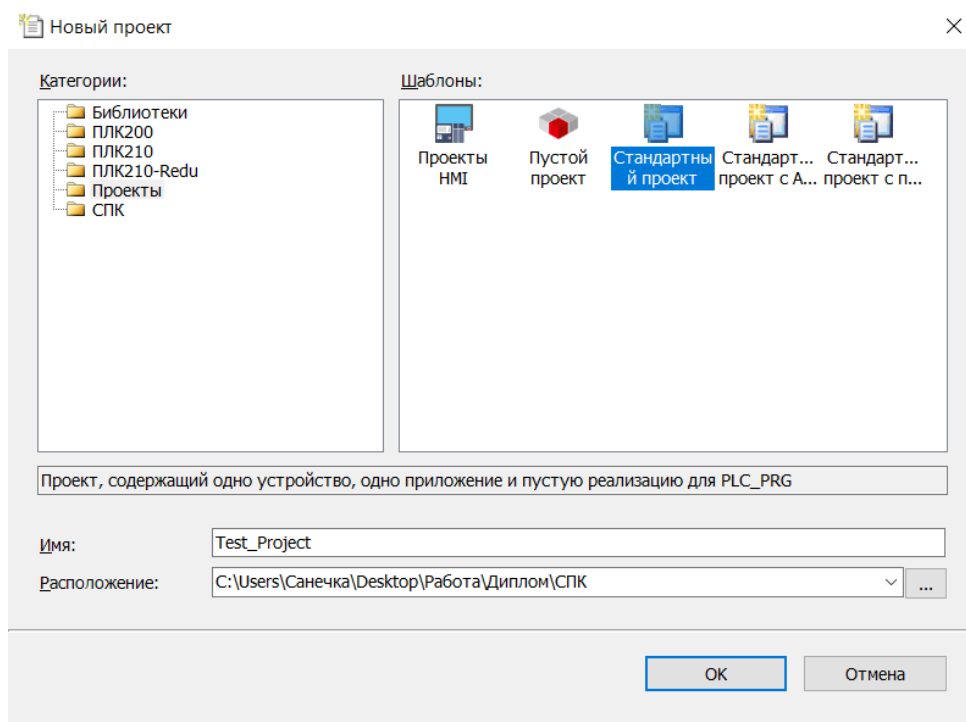


Рис. 33. Окно создания проекта для СПК

В следующем всплывающем окне в графе «Устройство» необходимо выбрать требуемую модель СПК, а в графе «PLC_PRG на:» выбрать «Непрерывные функциональные схемы (CFC)» (рис. 34) и нажать «ОК». Должны появиться рабочий экран и дерево проекта в левой области.

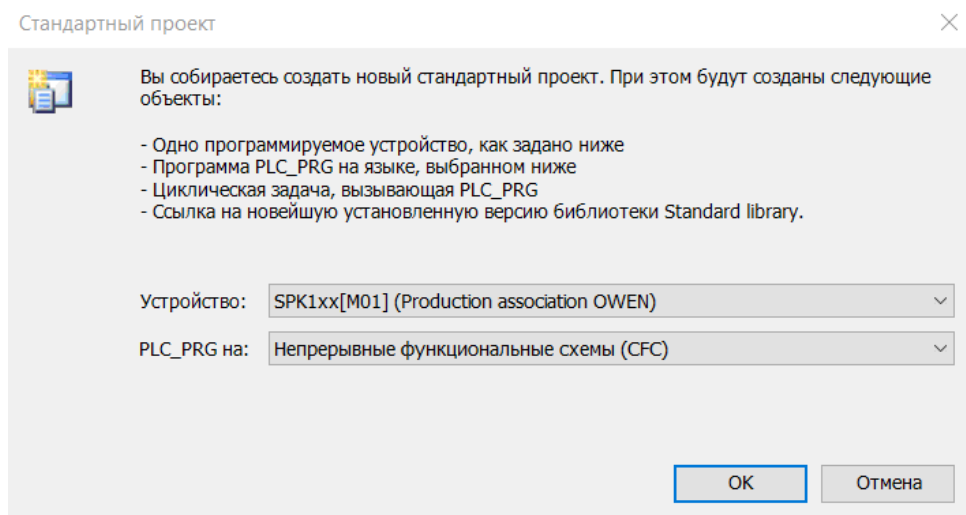


Рис. 34. Окно выбора устройства и языка

3. После создания проекта необходимо установить соединение с СПК. Для этого в дереве проекта необходимо выбрать «Device (SPK1xx[M01])». В разделе «Установки соединения» необходимо нажать «Сканировать сеть...» (рис. 35). Должно появиться окно «Выбор устрой-

ства» и в разделе «Gateway-1» при правильной настройке соединения должен отображаться подключенный контроллер, необходимо выделить его с помощью кнопки мыши и нажать «ОК»

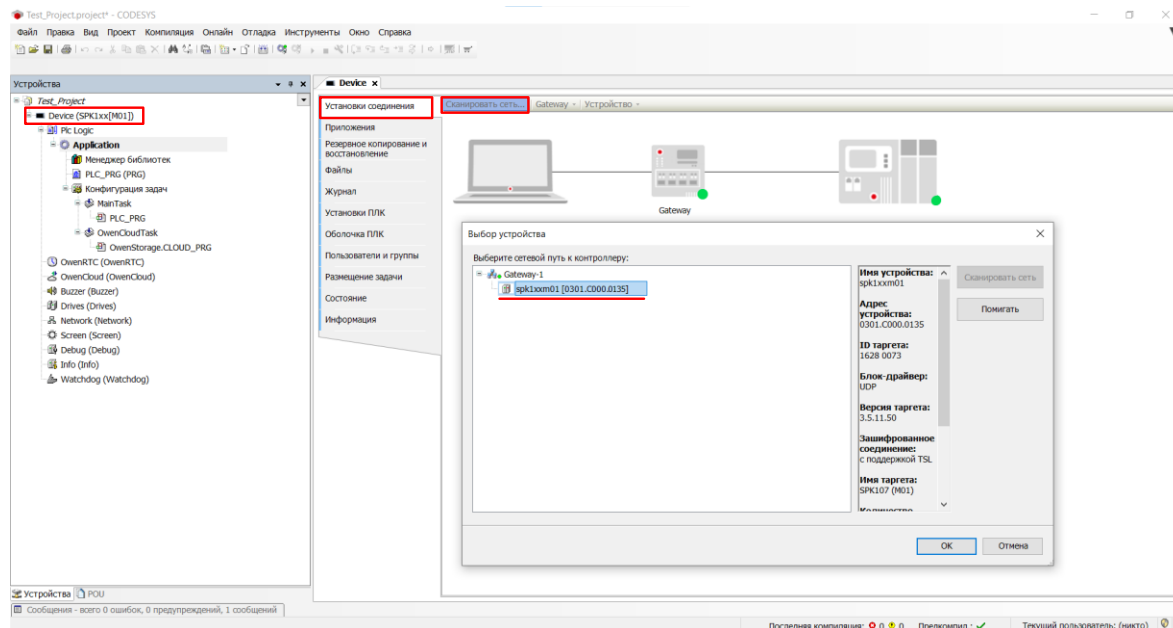


Рис. 35. Окно установки соединения с СПК

В том случае, если в разделе «Gateway-1» не отображается нужный контроллер, нужно проверить IP-адреса. Для этого необходимо зайти в «параметры» Windows → «Сеть и Интернет» → «Состояние» → «Настройка параметров адаптера» → «Ethernet» → «Свойства» → «IP версии 4 (TCP/IPv4)» → «Свойства» и указать настройки в соответствии с рис. 36, после чего нажать «ОК».

Далее необходимо проделать действия аналогично первому пункту, но теперь нужно нажать на кнопку «Введите пароль», ввести пароль «owen» с помощью сенсорной клавиатуры на СПК и в открывшемся меню в разделе «Ethernet» нажать на кнопку «Настроить». Необходимо в поле «IP-адрес» ввести значение «192-168-1-1», а в поле «Маска» ввести значение «255-255-0-0». Поле «Шлюз» можно не изменять. После данной настройки необходимо повторно попробовать установить соединение с контроллером.

4. После настройки линии связи можно проверить, успешно ли она была произведена. Для этого необходимо в меню нажать на вкладку «Онлайн» и выбрать пункт «Логин», если все настройки были произведены верно, то будет предложено загрузить новую программу. Далее необходимо нажать в меню на вкладку «Отладка» и выбрать пункт «Старт», внизу программы должна гореть зелёная надпись «Запуск» (рис. 37).

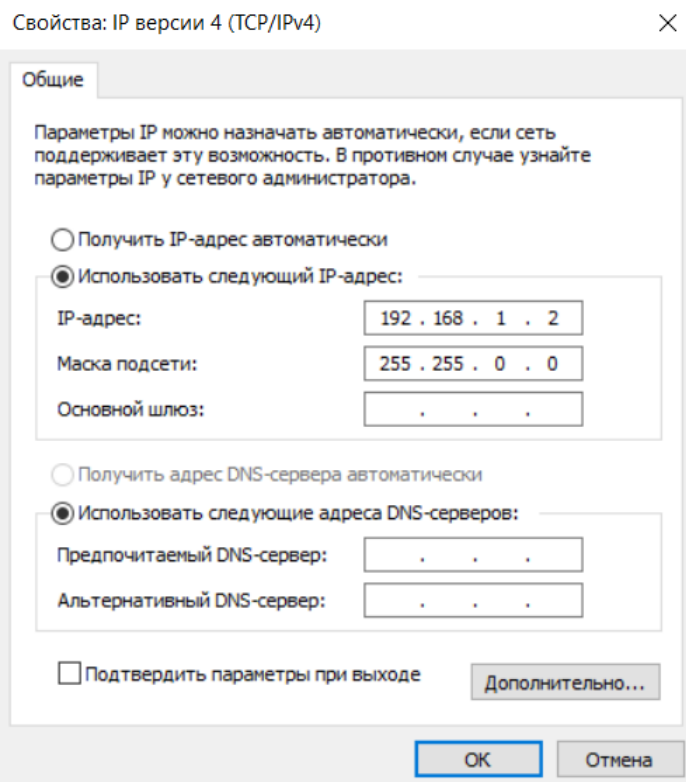


Рис. 36. Настройка IP-адреса для связи с СПК

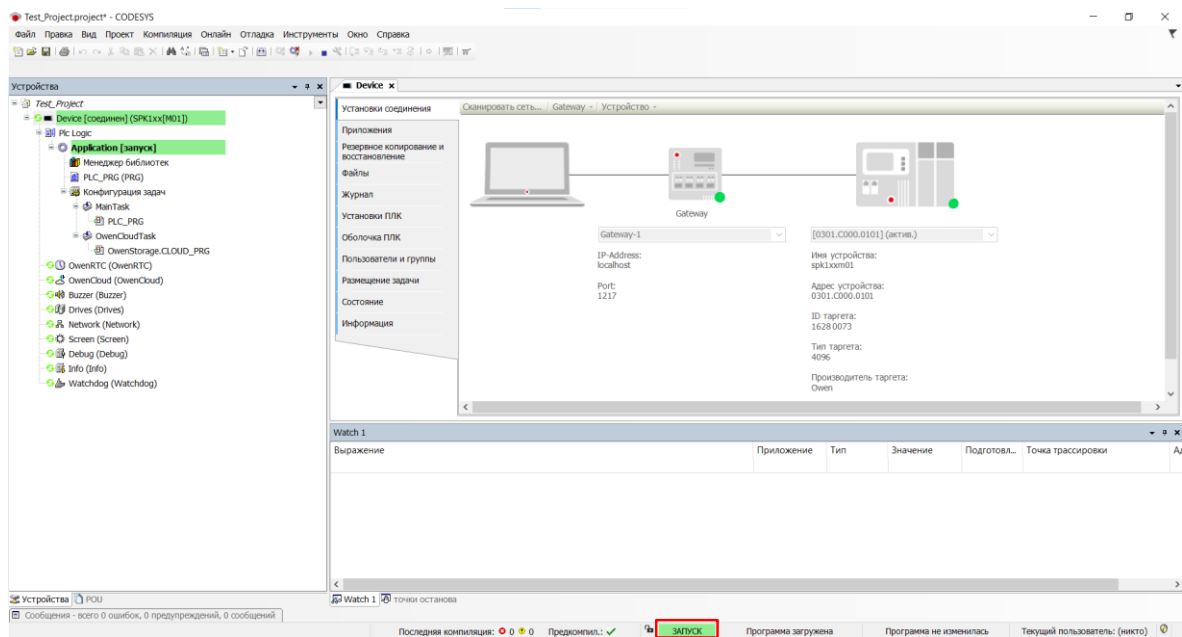


Рис. 37. Успешная загрузка проекта в СПК

Также в случае отсутствия возможности подключения к СПК можно запустить и проверить программу в режиме эмуляции. Для этого необходимо в меню нажать на вкладку «Онлайн», выбрать пункт «Эмуляция» и затем те же действия, что при загрузке проекта в СПК. В режиме эмуля-

ции для изменения значений переменных необходимо нажать на них двойным кликом левой кнопки мыши, после чего в меню нажать на вкладку «Отладка» и выбрать пункт «Записать значения».

Практическое задание №1

Создадим первый простой проект с визуализацией на СПК107 в среде программирования Codesys v3.5.

1. Создадим простую программу «Чтение системного времени» и выведем все на экран контроллера.
2. Откроем в дереве проектов «Device (SPK1xx[M01]) – PLC Logic – PLC_PRG(PRG)» (рис. 38).

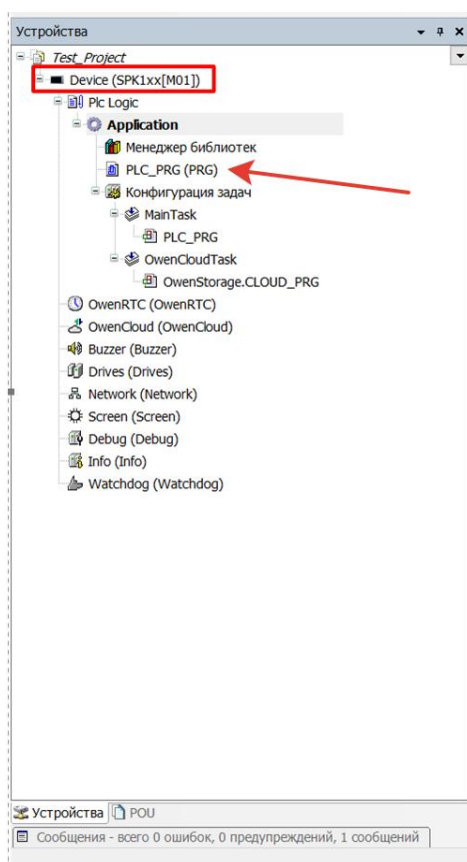


Рис. 38. Дерево проекта

Объявим переменные даты и время типа `String[80]` и длиной 80 символов:

```
PLC_DATA: String[80];  
PLC_TIME: String[80];
```


3. Во вкладке RTC привяжем переменные к полям формата Date и формата Time (рис. 39).

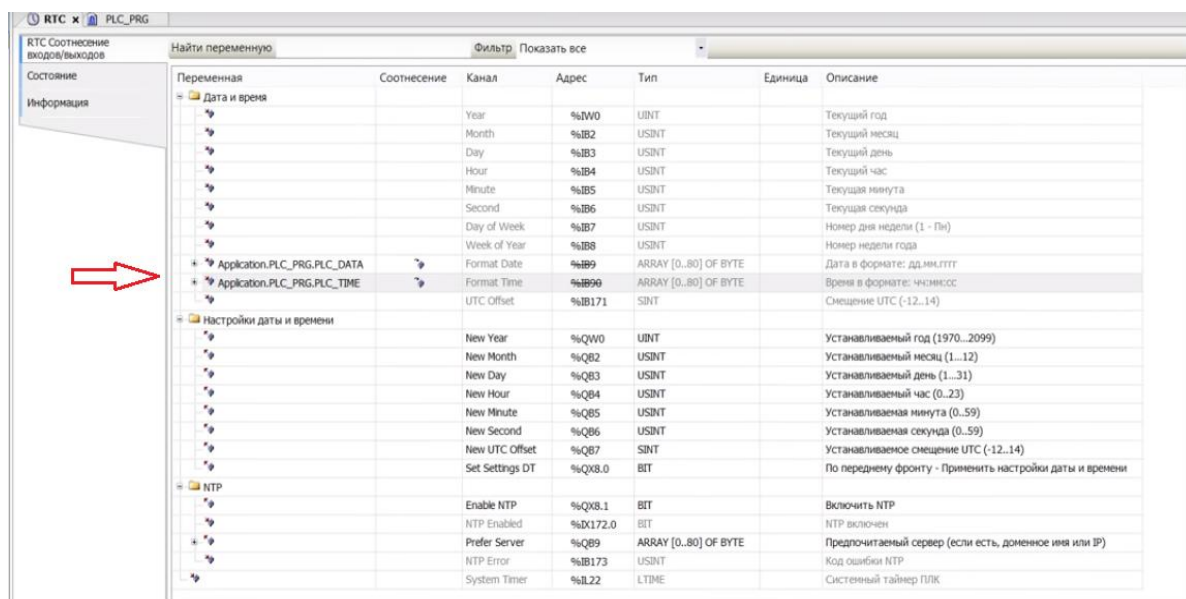


Рис. 39. Привязка переменных

5. Добавим в проект визуализацию. В дереве проекта выберем Device (SPK1xx[M01]) – Application-добавить объект –Визуализация»

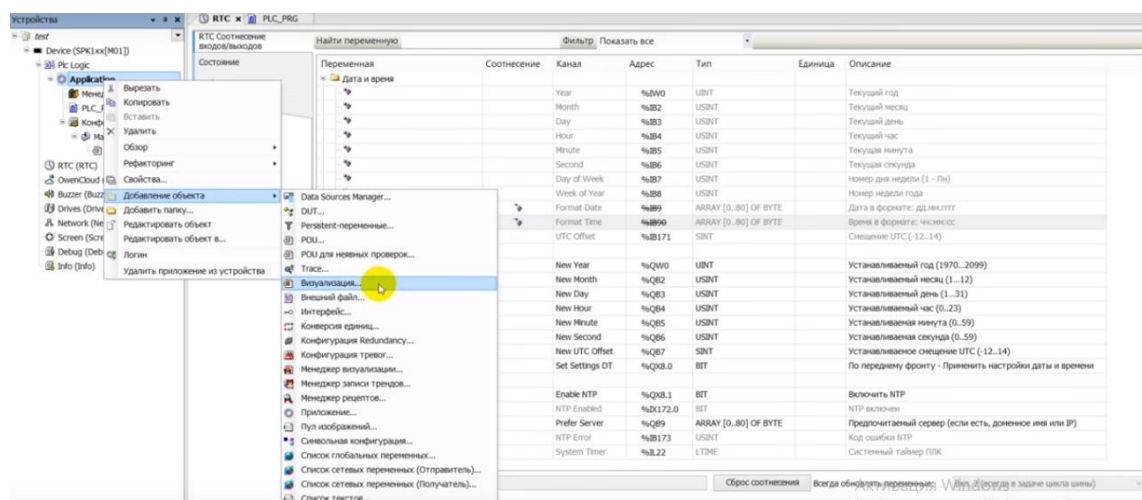


Рис. 40. Добавление объекта Визуализации

Справа выберем объект «базовый» и из представленных фигур выберем два прямоугольника и нарисуем их на рабочем поле.

В настройках прямоугольника (кликнув 2 раза левой кнопкой мыши) в поле текстовые переменные укажем заполнитель (%) для строк.

Справа в меню свойств выберем подменю «Текстовые переменные».

И для каждого прямоугольника привяжем свою переменную (из добавленных ранее).

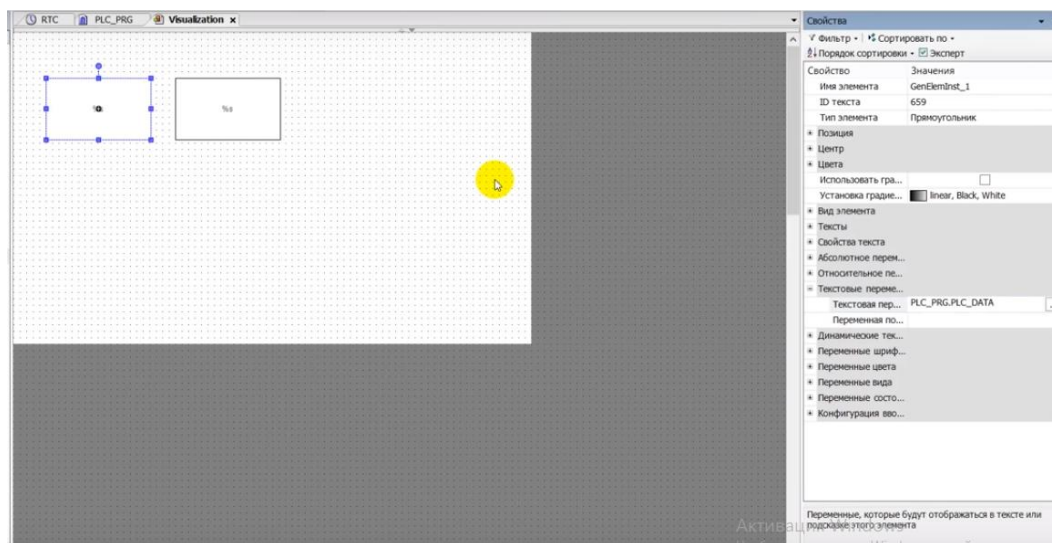


Рис. 41. Добавление на визуализацию фигур и переменных

6. Теперь выполним загрузку в контроллер. Для этого в меню «Онлайн» выбираем пункт «логин» и потом нажимаем «ОК».

Для сохранения проекта в СПК при отключении питания устройства, заходим в пункт «Онлайн» – «Создание загрузочного проекта».

Для запуска созданного проекта, заходим в пункт «Отладка» – «СТАРТ».

Наш проект загружен в контроллер и доступен для отображения в WEB-визуализации.

Практическое задание №2

В рамках знакомства студентов с СПК необходимо реализовать следующий алгоритм работы.

Система управления светофором. В системе присутствуют 2 светофора, которые работают в комплиментарном режиме, т.е. пока у одного светофора горит «зелёный», у другого светофора горит «красный» и наоборот. Режим работы светофоров следующий: «зеленый» цвет первого светофора горит в течении 10 секунд, после чего «желтый» цвет горит в течение 3 секунд, затем «зеленый» цвет второго светофора горит в течении 20 секунд. Работа светофоров должна осуществляться по команде «Работа» и первый «зеленый» цвет должен быть у первого светофора. Индикацию светофоров и все необходимые элементы необходимо вывести на экран СПК.

Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную на рис. 42. Также необходимо объявить локальные переменные с помощью команд, представленных в лист. 8.

Листинг 8. Объявление локальных переменных практического задания №1

```
WORK: BOOL;  
S1_G: BOOL;  
S1_Y: BOOL;  
S1_R: BOOL;  
S2_G: BOOL;  
S2_R: BOOL;  
TON_0: TON;  
TON_1: TON;  
TON_2: TON;  
TON_3: TON;
```

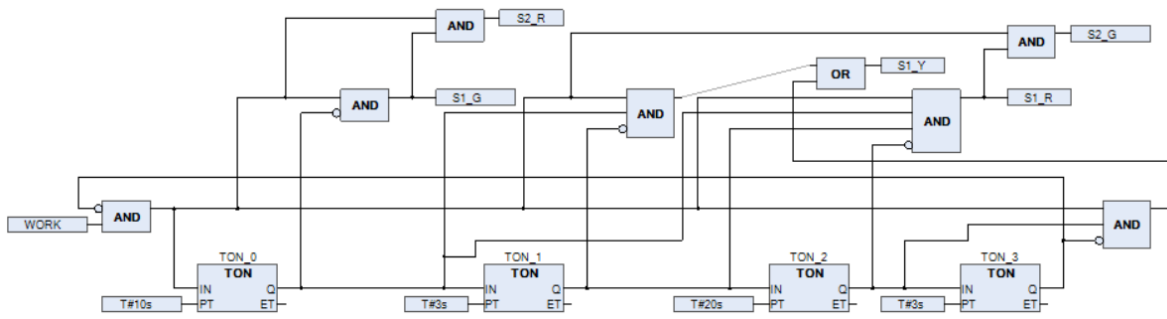


Рис. 42. Реализация практического задания №1 для СПК

После написания основной программы можно приступить к созданию визуализации. Для создания визуализации необходимо нажать в дереве проекта «Application» → «Добавление объекта» → «Визуализация» (рис. 43).

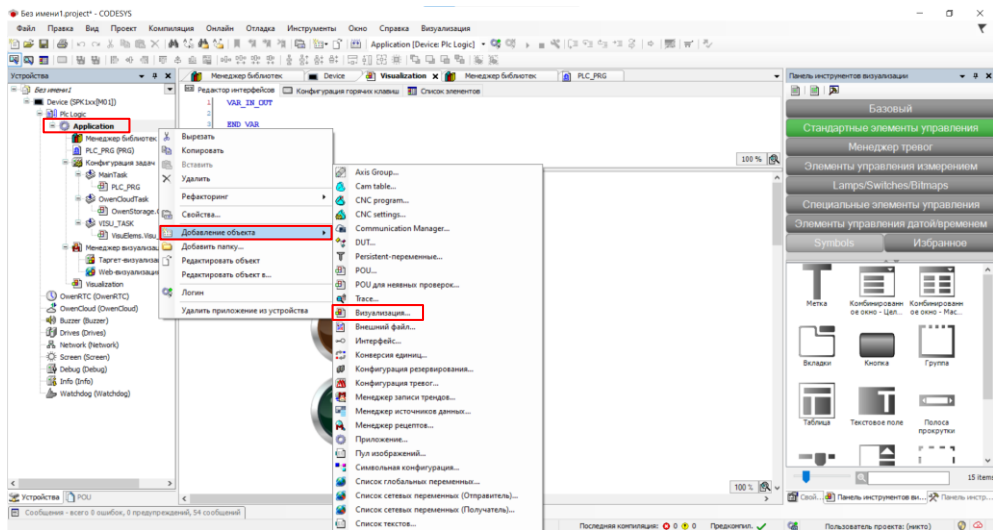


Рис. 43. Окно добавления визуализации в проект

В открывшейся визуализации справа находится «Панель инструментов визуализации». Из раздела «Lamps/Switches/Bitmaps» необходимо добавить объект «Переключатель питания» в рабочую область визуализации (рис. 44).

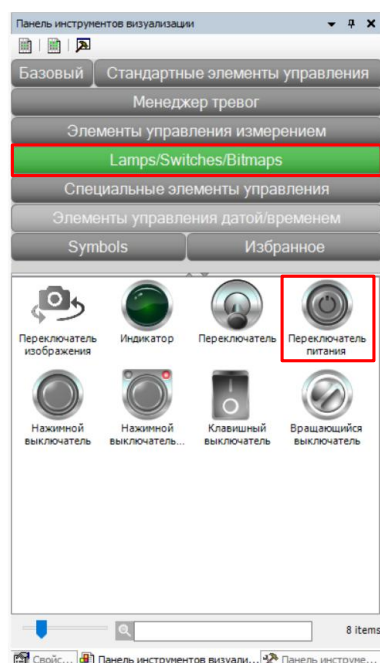


Рис. 44. Окно добавления объекта «Переключатель питания» в визуализацию

В свойствах объекта «Переключатель питания» необходимо в графе «Переменная» назначить ранее объявленную в программе переменную «WORK» (рис. 45).

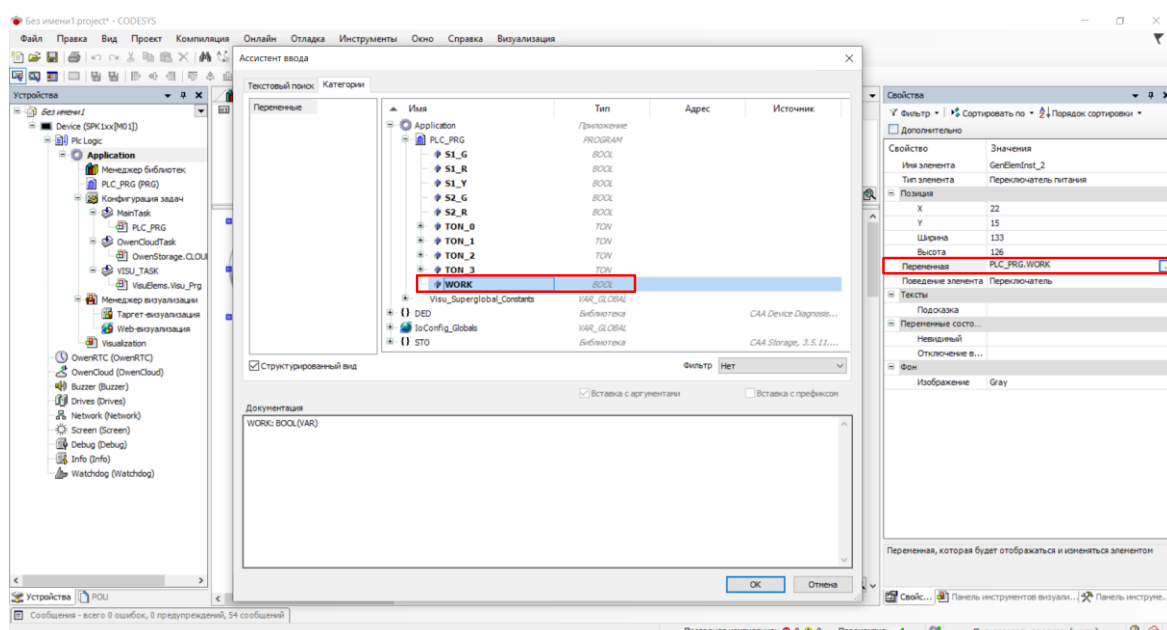


Рис. 45. Окно привязки переменной к объекту визуализации

Далее необходимо добавить из раздела «Lamps/Switches/Bitmaps» 6 объектов «Индикатор» в рабочую область визуализации. Для каждых 2-х объектов «Индикатор» необходимо назначить свой цвет светофора (красный, желтый и зеленый) для первого и второго светофоров соответственно. Также как и с объектом визуализации «Переключатель питания» необходимо назначить ранее объявленные в программе переменные «S1_G», «S1_Y», «S1_R», «S2_G» и «S2_R», где S1 и S2 – первый и второй светофор соответственно, а G, Y и R – зеленый, желтый и красный цвета соответственно. В итоге рабочая область визуализации в процессе работы должна выглядеть приблизительно как на рис. 46.

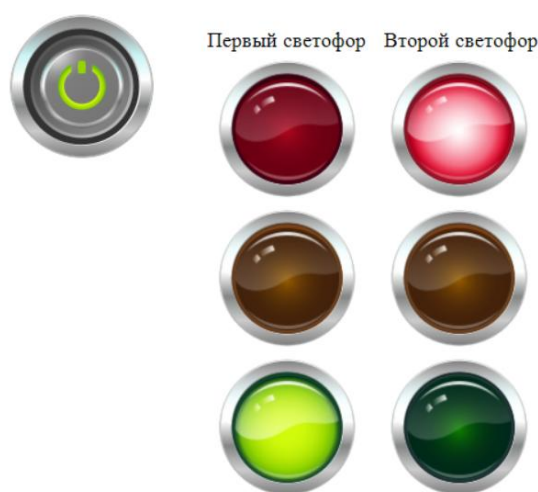


Рис. 46. Рабочая область визуализации практического задания №1 для СПК

Практическое задание №3

Необходимо реализовать следующий алгоритм работы.

Система управления отоплением умного дома. В системе присутствует датчик температуры и нагревательные кабели, к которым подводимая мощность контролируется с помощью контроллера. Система отопления должна включаться по кнопке с лицевой панели контроллера. С помощью регулятора на лицевой панели контроллера выставляется требуемая температура. На изменение уставки регулятора должны реагировать нагревательные кабели, приняв, что изменение температуры происходит с скоростью 1°C в 100 миллисекунд (т. е. при разнице температур уставки и датчика происходит изменение температуры с скоростью $10^{\circ}\text{C}/\text{сек.}$). График изменения температур (уставки и датчика) вывести на лицевую панель контроллера с «окном» по оси времени 30 секунд, а по оси температуры $[-5^{\circ}\text{C}; +30^{\circ}\text{C}]$. Изменение регулятора температуры возможно в диапазоне от 0 до 30 градусов Цельсия.

Для реализации данного алгоритма необходимо написать программу, представленную на рис. 47. Также необходимо объявить локальные переменные с помощью команд, представленных в лист. 9.

Листинг 9. Объявление локальных переменных для реализации практического задания №2 для СПК

```
WORK: BOOL;
SET_TEMPERATURE: WORD;
CURRENT_TEMPERATURE: WORD;
TON_0: TON;
TON_1: TON;
CTUD_0: CTUD;
```

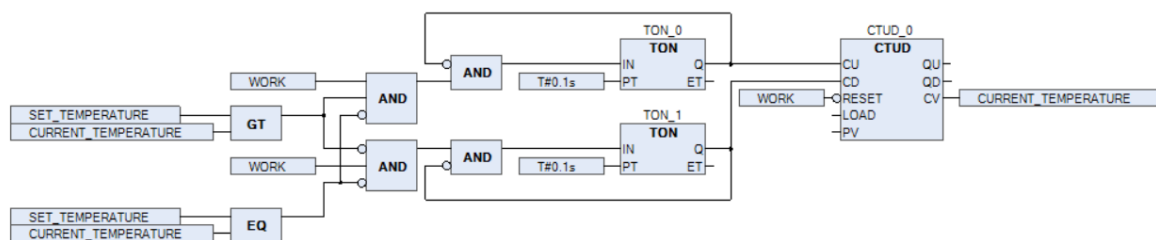


Рис. 47. Реализация практического задания №2 для СПК

После написания основной программы можно приступить к созданию визуализации аналогично предыдущему заданию. В рабочую область визуализации необходимо добавить объект визуализации «Переключатель питания» и привязать к нему объявленную ранее переменную «WORK». Необходимо добавить из раздела «Стандартные элементы управления» объект визуализации «Полоса прокрутки», привязать к нему ранее объявленную переменную «SET_TEMPERATURE», также в графах «Минимальное значение» и «Конечный индекс» выставить значения «0» и «30» соответственно (рис. 48).

После успешной настройки регулятора температуры необходимо добавить в рабочую область визуализации из раздела «Специальные элементы управления» объект визуализации «Трассировка», нажать правой кнопкой мыши по добавленному объекту и в выпадающем списке выбрать пункт «Конфигурация трассировки». В открывшемся окне в графе «Задача» необходимо выбрать «MainTask», в графе «Условие записи» необходимо привязать переменную «WORK», далее необходимо с помощью правого клика мыши по названию трассировки «Visualization_Trace1» в выпадающем списке выбрать пункт «Доб. переменную» (рис. 49), таким образом добавив 2 переменные.

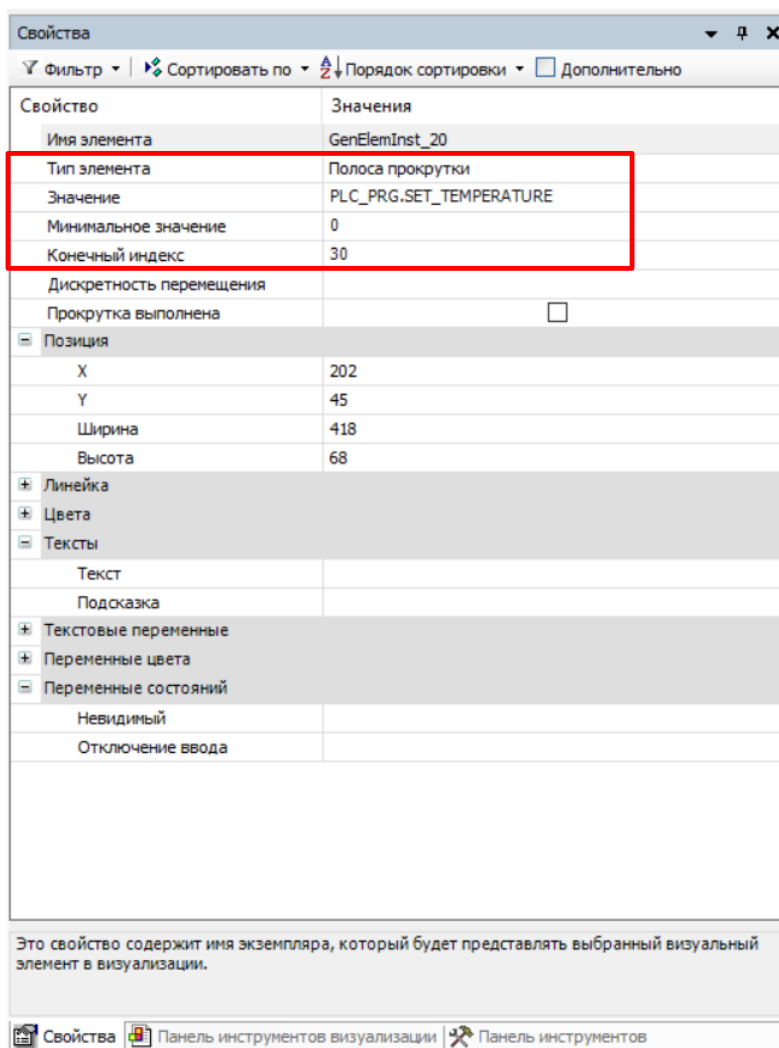


Рис. 48. Окно настройки регулятора температуры

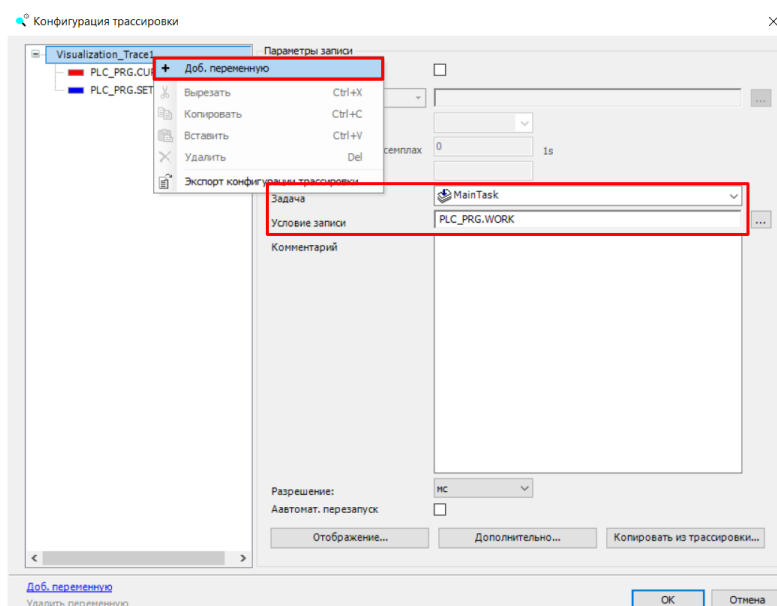


Рис. 49. Окно настройки трассировки – часть 1

В параметрах добавленных переменных необходимо привязать ранее объявленные переменные «SET_TEMPERATURE» и «CURRENT_TEMPERATURE». Параметры «Цвет графика», «Тип линии», «Ширина линии» и «Стиль линии» настроить на своё усмотрение (рис. 50) и нажать «ОК».

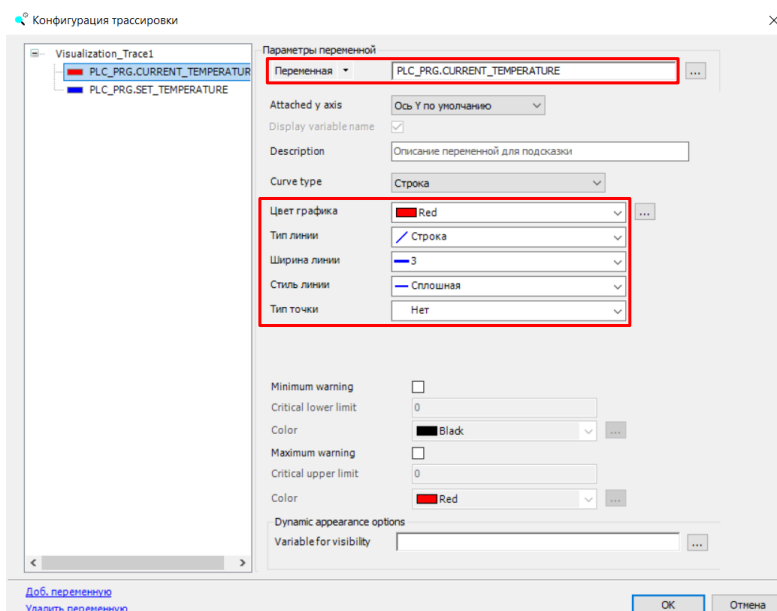


Рис. 50. Окно настройки трассировки – часть 2

Далее необходимо настроить оси трассировки, для этого нужно в окне «Конфигурация трассировки» выделить название трассировки и в нижней части окна нажать на кнопку «Отображение...». В открывшемся окне необходимо выбрать «Режим отображения» – «Фикс. длина» и выставить 30 секунд (рис. 51).

Далее необходимо перейти в вкладку «Ось Y», выбрать «Режим отображения» – «Фиксированный» и выставить в графе «Минимум» и «Максимум» значения «-5» и «35» соответственно, после чего нажать «ОК» во всех открытых окнах. Если вся настройка и написание программы были произведены верно, то рабочая область визуализации в процессе работы будет выглядеть приблизительно как на рис. 52.

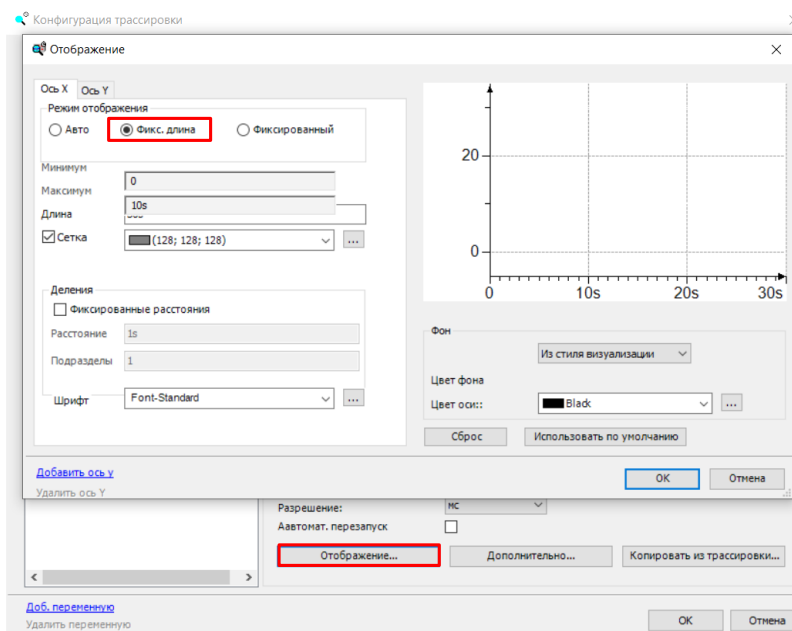


Рис. 51. Окно настройки трассировки – часть 3

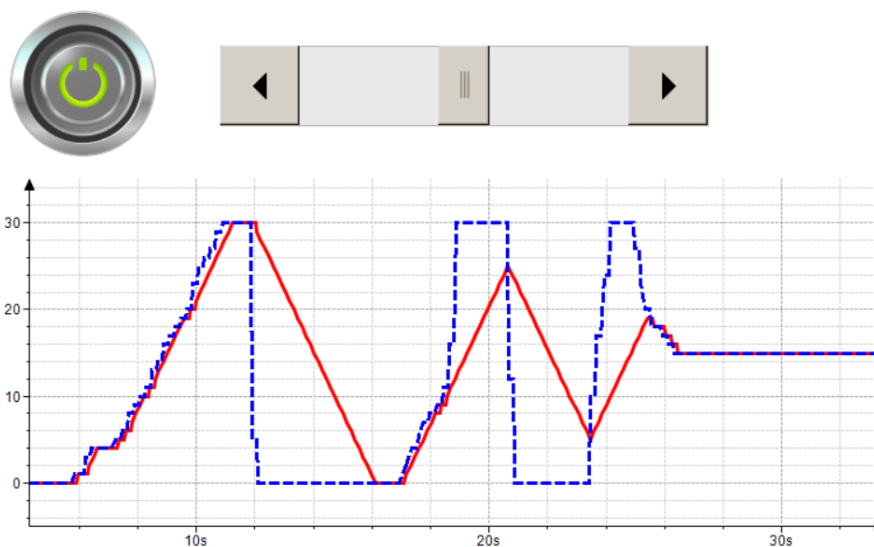


Рис. 52. Рабочая область визуализации практического задания №2 для СПК

[Вернуться к началу работы](#)
[Вернуться к содержанию](#)

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов/ А.С. Анучин. – М.: Издательство «МЭИ», 2019.
2. Попков, О.З. Основы преобразовательной техники/ О.З. Попков. – М.: Издательство «МЭИ», 2017
3. Золкин, А.Л. Программирование логических контроллеров: учебник/ А.Л. Золкин. – СПб: Лань, 2025.

Учебное электронное издание

Савкин Дмитрий Игоревич
Федорова Ксения Георгиевна
Шпак Дмитрий Михайлович

Редактор Е. Б. Бурдюкова

При разработке учебного электронного издания были использованы: пакет программ Microsoft Office с предустановленным компонентом MathType, векторный графический редактор Visio, а также web-технологии HTML, pdf.

Дата подписания – 11.12.2025

Объем издания – 3,71 МБ

Тираж – 10 электронных оптических дисков CD-ROM

Национальный исследовательский университет «МЭИ»
111250, Москва, Красноказарменная, д. 14, стр.1