

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Соболев Вячеслав Сергеевич

Номинация: «Информатика»

**«Импортозамещение в электроэнергетике строительных и
производственных объектов на территории Республики Крым»**

Научная работа
Для участия в конкурсе на
соискание премии
Республики Крым «За
научные достижения в сфере
приоритетных направлений
развития Крыма
Магистранта 1 курса
Факультет морской

Керчь, 2023 г.

Оглавление

Введение.....	3
1. Интеллектуальные устройства и их применение в Республике Крым.....	5
2. Обмен информации между датчиками	10
3. Интерфейсы связи отечественного и иностранного производства.....	13
4. Предложения по импортозамещению комплектующих на примере предприятий республики Крым.....	19
4.2 Контроль цифровых устройств по признаку четности	25
Выводы	37
Список литературы	38

Введение

В наше время довольно актуален вопрос процессов энергоэффективности. За последние годы в электроэнергетической отрасли Российской Федерации произошли радикальные преобразования: изменилась система государственного регулирования отрасли, сформировался конкурентный рынок электроэнергии, были созданы новые компании. В республике Крым необходимо отметить что возникли проблемы с поставкой и обслуживанием иностранных комплектующих с 2014 года. С рынка ушли многие производители, такие как siemens, schneider electric, ABB и другие, оставив за собой большую нишу, которую активно начали занимать отечественные производители.

Введение санкций против Республики Крым требует новых подходов в решении проблем удаленного доступа к терминальным службам, например судостроительный завод «ЗАЛИВ», «Море» лишились возможности обслуживания и замены имеющегося оборудования. Так же как и многие предприятия и организации, в том числе гостиничный бизнес и многое другое. Не имея возможности осуществлять поставки и ремонт комплектующих пришлось искать замену в лице Российских брендов, таких как ОВЕН, ИмпЭксТехнология и другие. Которые в свою очередь не уступают аналогам, а в некоторых аспектах даже превосходя, не маловажно и наличие собственных сред программирования.

Изменилась и структура отрасли: было осуществлено разделение естественно монопольных (передача электроэнергии, оперативно-диспетчерское управление) и потенциально конкурентных (производство и сбыт электроэнергии, ремонт и сервис) функций; вместо прежних вертикально-интегрированных компаний, выполнявших все эти функции, созданы структуры, специализирующиеся на отдельных видах деятельности.

В связи с этим ведется большое количество разработок различного оборудования, позволяющего добиться большей эффективности, а так же поиск

способов ее повышения. Одним из таких способов является внедрение систем «умный дом», которые позволяют наиболее эффективно управлять электроприборами. Однако установка этой системы часто не ограничивается управлением имеющимся оборудованием.

Так же могут быть дополнительно смонтированы различные системы безопасности, к примеру защита от затоплений. Подобные решения повышают нагрузку на сеть, однако компенсируют это в таких направлениях, как предотвращения технических сбоев, затопления помещений, дополнительную безопасность объекта.

Данные системы могут быть интегрированы в различных отраслях, в данном случае рассматривается система, для жилых помещений. Особенно актуальна эта проблема для республики Крым, в связи с относительно небольшим процентом интегрирования современных технологий по сравнению с крупными городами Российской Федерации. В Крыму на данный момент много возможностей для внедрения инноваций из за активной застройки территорий, а так же реставрации различных объектов. Активно ведутся программы для поддержки предпринимателей и государственного финансирования производственных мощностей.

Интеграция в различные области «Internet of things» открывает много новых возможностей для развития внутренних инфраструктур, оптимизации энергопотребления, а так же различных защит от аварийных ситуаций и повышения качества жизни граждан республики Крым.

В рамках работы рассмотрели переход с иностранных комплектующих на отечественные(марки) , вопросы обеспечения стабильности работы и настройки оборудования, были предложены механизмы реализации программно-аппаратных компонентов для обеспечения стабильности работы. Исследования служат основой для дальнейшего развития тематики импортозамещения и обеспечения стабильной и безотказной работы оборудования.

1. Интеллектуальные устройства и их применение в Республике Крым

Умный дом – это система управления и автоматизации инженерными системами дома, предназначенная для повышения безопасности и комфорта пользователей [4].

Такая система может включать в себя много функций, начиная от контроля освещения и вентиляции, до оповещения, при проникновении в дом посторонних и отслеживании утечек воды на пол. Все функции обеспечиваются при помощи специальных датчиков, которые объединены общим хабом, устройством управления.

В представленном случае автоматическое управление производится при помощи контроллера ПЛК160 [M02] от фирмы ОВЕН. Он обеспечивает обработку сигналов, поступающих с датчиков и отправляет управляющие команды устройствам исполнителям. А так же выводит всю необходимую информацию с датчиков, на информационную панель оператора. С этой панели, осуществляется, управление всеми подключенными системами. Технические характеристики контроллера представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики контроллера ПЛК160 [M02]

Модель	ПЛК160 [M02]
Производитель	ОВЕН
Центральный процессор	RISC-процессор Texas Instruments Sitara AM1808
Объем оперативной памяти (SDRAM)	Пользовательская программа: 1 Мб Данные пользовательской программы: 128 Кб Heap: до 4 Мб1 RAM-диск: 8 Мб
Объем энергонезависимой памяти (FLASH)	6 Мбайт доступно для хранения файлов и архивов
Размер Retain-памяти (MRAM)	16 Кбайт
Количество сокетов	30
Время выполнения пустого цикла	Установленное по умолчанию (стабилизированное) – 1 мс
Интерфейсы связи:	RS-485 RS-232 пропуск способность расчет RS-232 Debug Ethernet 100 Base-T USB-Device USB-Host
Максимальный ток питания подключаемых устройств	До 250 мА3 (RS-232-Debug / RS-232) До 150 мА (USB-Host)
Количество входов: - из них быстродействующих	16 4 (DI1-DI4)
Напряжение питания дискретных входов	24 ± 3 В
Максимальный входной ток дискретного входа, не более	7 мА – при питании 24 В 8,5 мА – при питании 27 В
Минимальная длительность импульса, воспринимаемого дискретным входом	1 мс – для обычных входов 0,02 мс – для быстродействующих

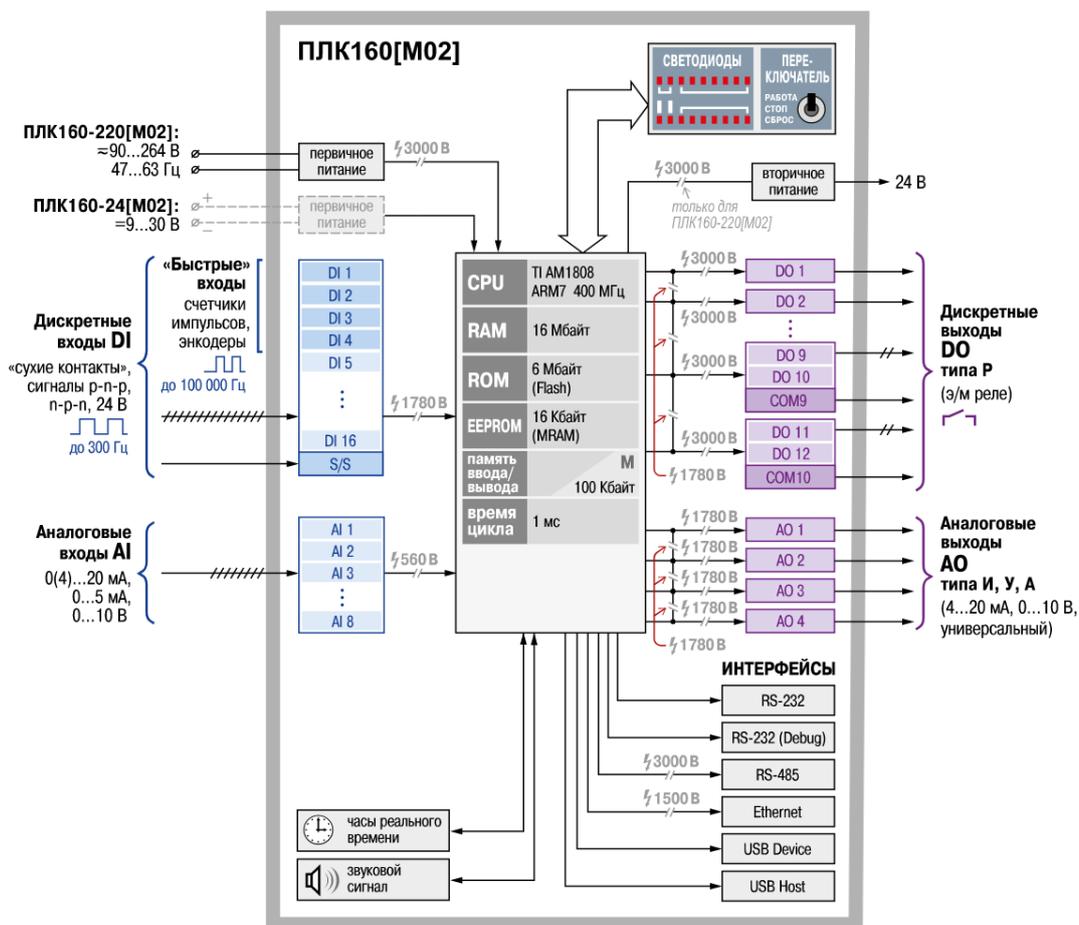


Рисунок 1.1 – Функциональная схема контроллера ПЛК160 [M02]

Дальше в проектировании будет использоваться контроллер средних систем автоматизации ПЛК160 [M02] по следующим причинам:

1. Данный контроллер имеет интерфейсы RS-485, RS-232, Ethernet. Что расширяет сферу возможных подключений и контроля оборудования (что необходимо для ряда приборов используемых в это проекте) по сравнению с контроллерами для малых систем автоматизации;
2. Способность к быстрым перезагрузкам, при неисправностях или техническом обслуживании;
3. Сравнительно большая отказоустойчивость;
4. Большой объем памяти;

5. Лучше оптимизирует потоки информации и их обработку.

При выборе средств автоматизации в рамках выпускной квалификационной работы будет использоваться отечественное оборудование компании ОВЕН, так как сейчас идет активная программа по импортозамещению. Иностранная продукция на Рынки РФ поступает затруднительно и вопрос гарантийного обслуживания не всегда может быть решением.

По сравнению с западными аналогами цены на продукцию ОВЕН ниже при достаточно высоком европейском качестве. Так же в нынешних условиях, актуальна проблема импортозамещения. Отечественное оборудование на данный момент доступнее зарубежных аналогов. Оборудование ОВЕН, за 6 лет зарекомендовало себя как надежное с минимальным количеством отказов.

Компания предоставляет бесплатные драйверы, OPC-серверы и функциональная библиотека OWEN WIN.DLL, что облегчает работу по разработке программного обеспечения, а также отзывчивая техническая поддержка, которая помогает при внедрении проектов даже в удаленном режиме.

За основу был взят обновленный контроллер ОВЕН ПЛК160 [M02] с выходом на локальную сеть и увеличенным размером памяти. Это моноблочный контроллер с дискретными и аналоговыми выходами, входами, для автоматизации средних систем.

В рамках выпускной квалификационной работы бакалавра будет входить: проектирование трансформаторной подстанции; расчет режима при обрыве фазы ВЛ; контроль освещения, через датчики движения; поддержание оптимальной температуры; контроль уровня влажности воздуха; оповещение при затоплении; вся информация и контроль функциями умного дома будет выводиться на сенсорную информационную панель.

Внедрение интеллектуальных устройств (IOT), позволит предотвратить лишние затраты на ремонт, путем своевременного оповещения о проблеме,

повысить комфорт жильцов дома, а так же снизить энергопотребление. Система «умный дом» будет включать в себя:

- 1) Система защиты помещений от затопления, комплекс приборов ОВЕН СОЗ-3П;
- 2) Датчики движения для своевременного включения и отключения освещения, что позволит экономить электроэнергию и продлить срок службы ламп;
- 3) Контроль влажности и температуры помещений, что так же позволит уменьшить износ отделки помещений.

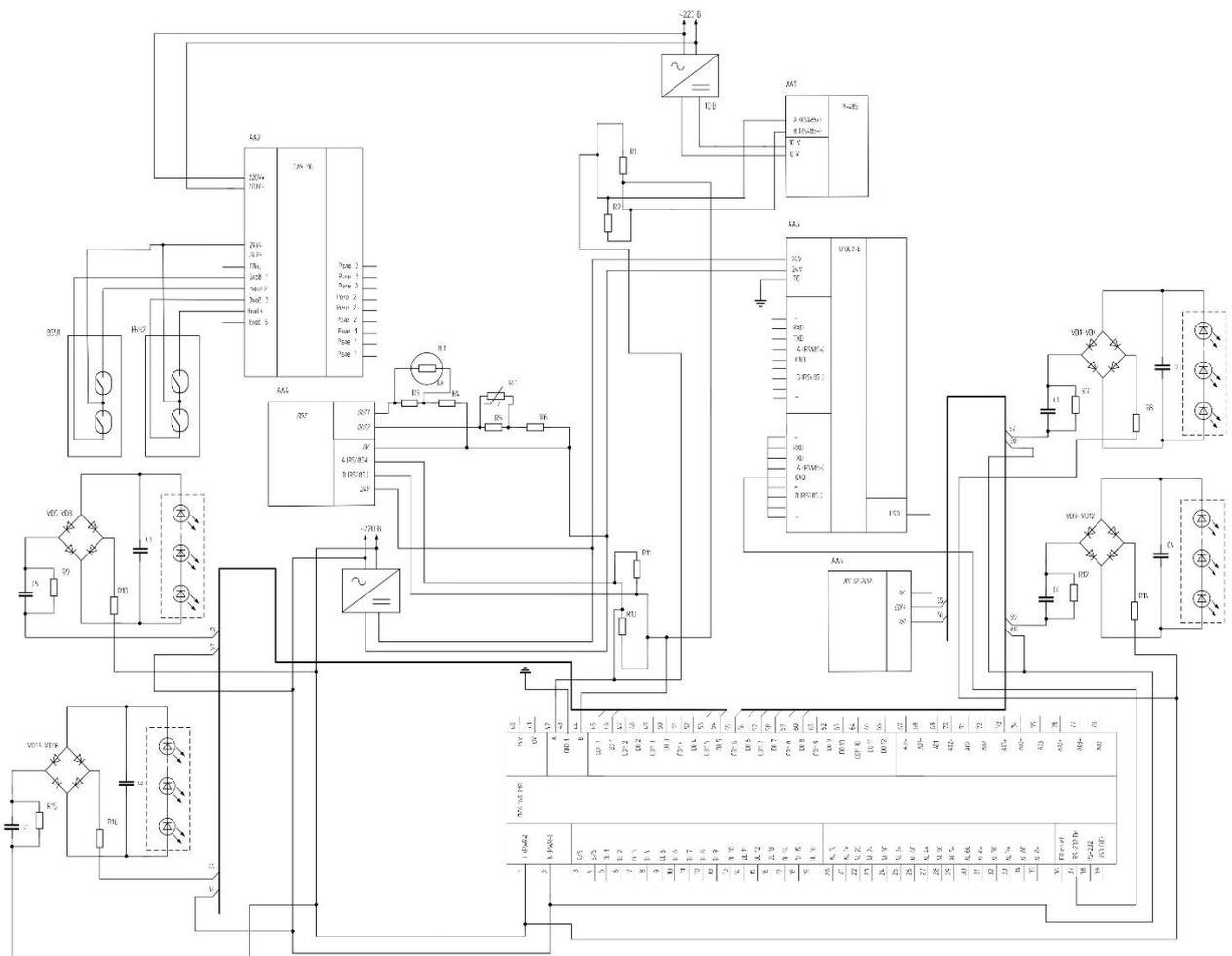


Рисунок 1.2 – Спроектированная система «умный дом» для жилых помещений

2. Обмен информацией между датчиками

Обмен информацией между датчиками производится непосредственно через управляющее устройство. Как правило, датчики используются не сами по себе, а входят в состав системы управления, обеспечивая сигнал обратной связи.

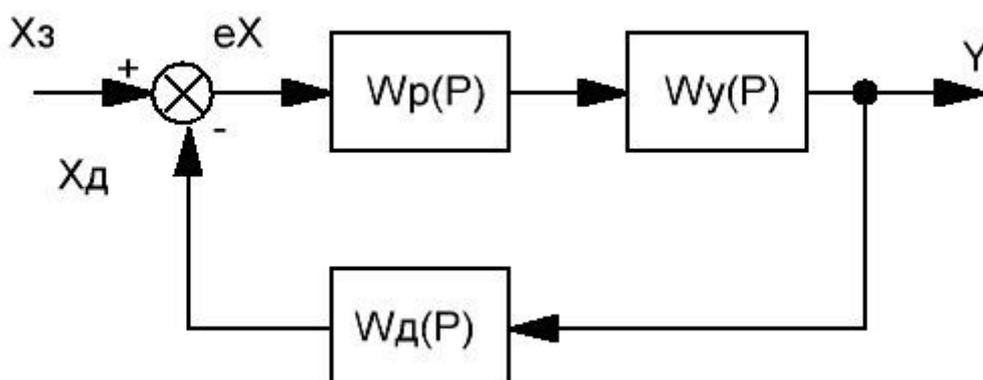


Рисунок 2.1 – Типовая схема замкнутой системы регулирования

Датчики классифицируются по различным признакам [5]:

- 1) В зависимости от вида входной (измеряемой) величины различают:
 - Датчики механических перемещений (линейных и угловых);
 - Пневматические;
 - Электрические;
 - Расходомеры;
 - Датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др.
- 2) По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают неэлектрические и электрические:
 - Датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения);
 - Датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения);
 - Датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения);

- Датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

3) По принципу действия датчики можно разделить на два класса:

генераторные, которые осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал;
параметрические (датчики-модуляторы), которые входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра (R, L или C) датчика.

4) По принципу действия датчики также можно разделить на такие категории:

- Омические;
- Реостатные;
- Фотоэлектрические (оптико-электронные);
- Индуктивные;
- Емкостные и др.

5) Различают три класса датчиков по физической структуре сигнала:

аналоговые датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово.

При выборе и эксплуатации датчиков необходимо понимать его соотношение уровня сигналов на входах и выходах. Оно определяется как:

$$W_{D(p)} = \frac{Y(p)}{X(p)}.$$

В операторном виде является передаточной функцией датчика, точно определяет характеристики датчика в статике и динамике. Так же статическая характеристика может иметь линейный вид:

$$Y = aX + b,$$

где a – наклон прямой, он определяется чувствительностью датчика.

b – уровень входного сигнала при отсутствии сигнала на входе.

Кроме датчиков с линейной зависимостью, существуют датчики со следующими зависимостями:

Логарифмическая:

$$Y = a \cdot \ln X + b$$

Экспоненциальная:

$$Y = a \cdot e^{kX} + b$$

Степенная:

$$Y = a_1 \cdot X^k + a_0$$

А для датчиков с более сложными характеристиками, есть специальная документация.

Так же не маловажным параметром в работе системы, является скорость передачи данных, которую можно определить, как математическое ожидание по формуле:

$$M(Y(x)) = \sum_{i=1}^k \left(P(Xi) \cdot \log \left(\frac{1}{P(Xi)} \right) \right)$$

где $M(Y(x))$ – математическое ожидание количества информации

источника сообщений X ,

Xi – i -тый поступающий сигнал,

$P(Xi)$ – вероятность i -того поступающего сигнала X .

3. Интерфейсы связи отечественного и иностранного производства

Интерфейс — это набор инструментов, который позволяет пользователю взаимодействовать с программой. В более широком смысле термин обозначает любые инструменты для соприкосновения между разными системами и сущностями. Часто говорят о графическом интерфейсе — это внешний вид сайта, программы или приложения [7.]

В телекоммуникациях стандарт интерфейса - это стандарт, который описывает одну или несколько функциональных характеристик (таких как преобразование кода, назначение строк или соответствие протоколу) или физических характеристик (таких как электрические, механические или оптические характеристики), необходимых для обеспечения обмена информацией между двумя или более (обычно разными) системами или частями оборудования.

Интерфейс RS-485 – основной интерфейс связи, через который будет осуществляться прием/передача данных в рассматриваемой системе. RS-485 – это распространенный стандарт физического уровня связи. Физический уровень - это канал связи и способ передачи сигнала (1 уровень модели взаимосвязи открытых систем OSI).

Интерфейс RS-485 (другое название - EIA/TIA-485) - один из наиболее распространенных стандартов физического уровня связи. Физический уровень - это канал связи и способ передачи сигнала (1 уровень модели взаимосвязи открытых систем OSI).

Сеть, построенная на интерфейсе RS-485, представляет собой приемопередатчики, соединенные при помощи витой пары - двух скрученных проводов. В основе интерфейса RS-485 лежит принцип дифференциальной (балансной) передачи данных. Суть его заключается в передаче одного сигнала по двум проводам. Причем по одному проводу (условно А) идет оригинальный

сигнал, а по другому (условно В) - его инверсная копия. Другими словами, если на одном проводе "1", то на другом "0" и наоборот. Таким образом, между двумя проводами витой пары всегда есть разность потенциалов: при "1" она положительна, при "0" - отрицательна.

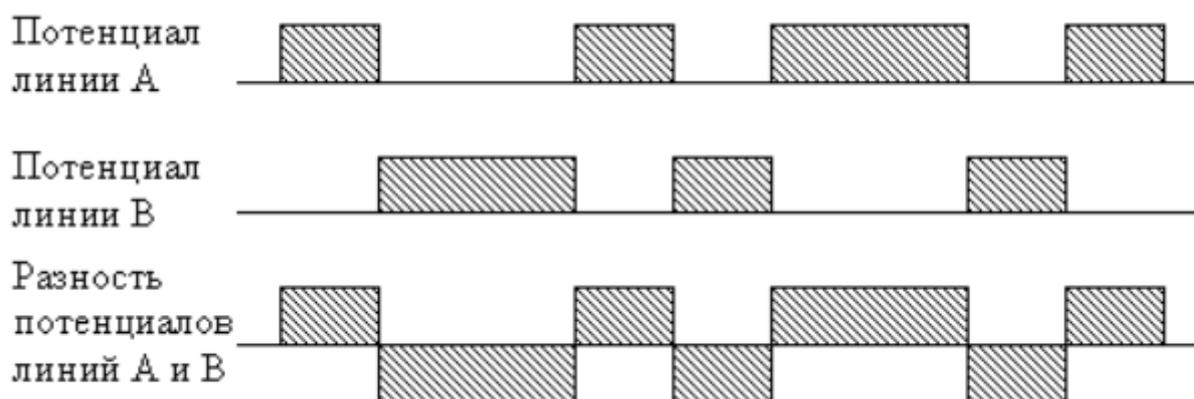


Рисунок 3.1 – График передачи сигнала по проводам

На основании данной разности потенциалов и передается сигнал. Такой способ передачи обеспечивает высокую устойчивость к синфазной помехе. Синфазной называют помеху, действующую на оба провода линии одинаково. К примеру, электромагнитная волна, проходя через участок линии связи, наводит в обоих проводах потенциал. Если сигнал передается потенциалом в одном проводе относительно общего, как в RS-232, то наводка на этот провод может исказить сигнал относительно хорошо поглощающего наводки общего ("земли"). Кроме того, на сопротивлении длинного общего провода будет падать разность потенциалов земель - дополнительный источник искажений. А при дифференциальной передаче искажения не происходит. В самом деле, если два провода пролегают близко друг к другу, да еще перевиты, то наводка на оба провода одинакова. Потенциал в обоих одинаково нагруженных проводах изменяется одинаково, при этом информативная разность потенциалов остается без изменений.

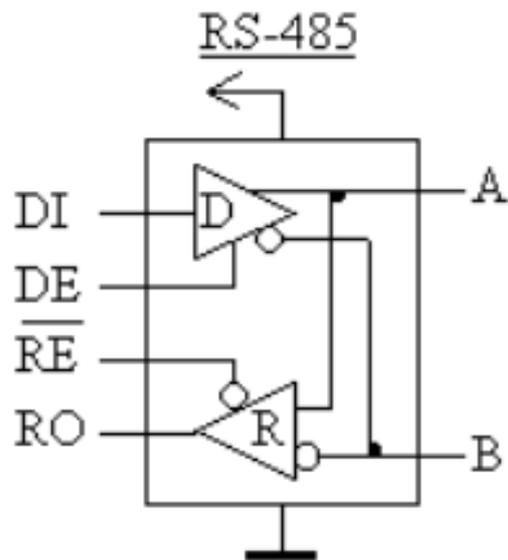


Рисунок 3.2 – Микросхема приемопередатчиков с дифференциальными входами/выходами

D (driver) - передатчик;

R (receiver) - приемник;

DI (driver input) - цифровой вход передатчика;

RO (receiver output) - цифровой выход приемника;

DE (driver enable) - разрешение работы передатчика;

RE (receiver enable) - разрешение работы приемника;

A - прямой дифференциальный вход/выход;

B - инверсный дифференциальный вход/выход;

Таблица 3.1 – Параметры интерфейса RS-485

Стандартные параметры интерфейсов	RS-485
Допустимое число передатчиков / приемников	32 / 32
Максимальная длина кабеля	1200 м
Максимальная скорость связи	10 Мбит/с
Диапазон напряжений "1" передатчика	+1.5...+6 В
Диапазон напряжений "0" передатчика	-1.5...-6 В
Диапазон синфазного напряжения передатчика	-1...+3 В
Допустимый диапазон напряжений приемника	-7...+12 В
Пороговый диапазон чувствительности приемника	±200 мВ
Максимальный ток короткого замыкания драйвера	250 мА
Допустимое сопротивление нагрузки передатчика	54 Ом
Входное сопротивление приемника	12 кОм
Максимальное время нарастания сигнала передатчика	30% бита

3.1 Согласование и конфигурация линии связи

При больших расстояниях между устройствами, связанными по витой паре и высоких скоростях передачи начинают проявляться так называемые эффекты длинных линий. Причина этому - конечность скорости распространения электромагнитных волн в проводниках. Скорость эта существенно меньше скорости света в вакууме и составляет немногим больше 200 мм/нс. Электрический сигнал имеет также свойство отражаться от открытых концов линии передачи и ее ответвлений. Для коротких линий и малых скоростей передачи этот процесс происходит так быстро, что остается незамеченным. Однако, время реакции приемников - десятки/сотни нс. В таком масштабе времени несколько десятков метров электрический сигнал проходит отнюдь не мгновенно. И если расстояние достаточно большое, фронт сигнала, отразившийся в конце линии и вернувшийся обратно, может исказить текущий

или следующий сигнал. В таких случаях нужно каким-то образом подавлять эффект отражения.

У любой линии связи есть такой параметр, как волновое сопротивление $Z_{\text{в}}$. Оно зависит от характеристик используемого кабеля, но не от длины. Для обычно применяемых в линиях связи витых пар $Z_{\text{в}}=120$ Ом. Оказывается, что если на удаленном конце линии, между проводниками витой пары включить резистор с номиналом равным волновому сопротивлению линии, то электромагнитная волна дошедшая до "тупика" поглощается на таком резисторе. Отсюда его названия - согласующий резистор или "терминатор".

Большой минус согласования на резисторах - повышенное потребление тока от передатчика, ведь в линию включается низкоомная нагрузка. Поэтому рекомендуется включать передатчик только на время отправки посылки. Есть способы уменьшить потребление тока, включая последовательно с согласующим резистором конденсатор для развязки по постоянному току. Однако, такой способ имеет свои недостатки. Для коротких линий (несколько десятков метров) и низких скоростей (меньше 38400 бод) согласование можно вообще не делать. Подробнее можно почитать в статье "Обрежьте жирок с RS-485". Эффект отражения и необходимость правильного согласования накладывают ограничения на конфигурацию линии связи.

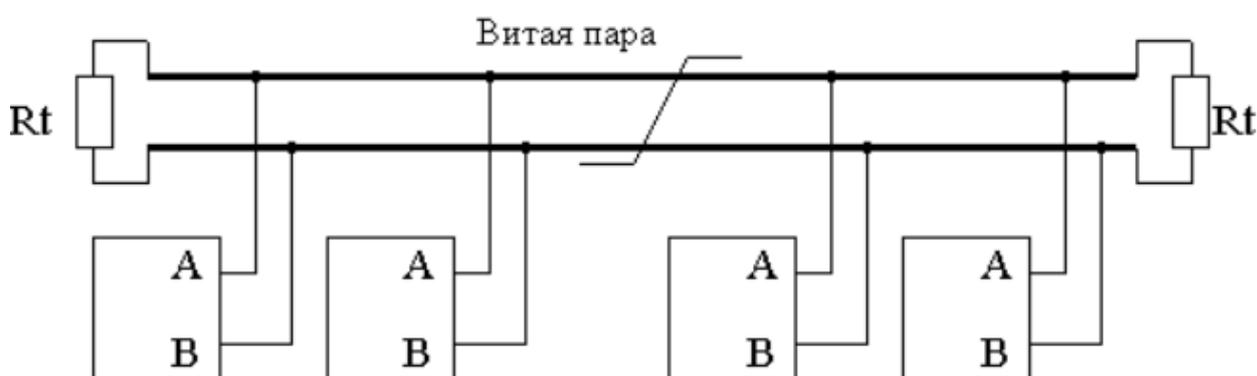


Рисунок 3.3 – линия связи

Линия связи должна представлять собой один кабель витой пары. К этому кабелю присоединяются все приемники и передатчики. Расстояние от линии до микросхем интерфейса RS-485 должно быть как можно короче, так как длинные ответвления вносят рассогласование и вызывают отражения.

4. Предложения по импортозамещению комплектующих на примере предприятий республики Крым

В данном проекте, в основном будет использоваться оборудование от производителя ОВЕН. В настоящее время проблема импорта зарубежной электроники набирает обороты. Запреты на ввоз на территорию Крыма вычислительной техники теперь обусловлены не только санкциями наложенными другими странами, но и потенциальными запретами Минпромторга. Власти обсуждают с рядом отечественных производителей возможность ограничить параллельный импорт вычислительной техники таких брендов, как Acer, Asus, IBM, Dell, HP. Эти бренды имеют значительную долю продаж на отечественном рынке. В связи с этим оборудование зарубежных производителей становится трудно закупать, из за частого отсутствия того или иного товара, а так же неоправданно завышенных цен. Из за наложенных санкций, даже обслуживание такого оборудования становится затруднительно, не говоря уже об обновлениях приложений и ПО, которые нельзя установить официальными способами.

Имеющиеся оборудование:

Таблица 4.1 – Контроллер для средних систем автоматизации

Модель	ПЛК M172
Производитель	Schneider
Озу	2 Мб
Кол-во дискретных входов	12
ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ	15 Вт в 24 В пер./пост. тока
Степень защиты	Ip 20

Таблица 4.2 – Датчики движения

Модель	Schneider Electric MTN5710-6035
Класс защиты (IP)	IP20
Номинальное напряжение	230 В
Монтаж	открытый
Задержка включения	10с
Угол сканирования	180 °
Цена	3258

Таблица 4.3 – Датчики температуры

Модель	STD300
Производитель	Schneider Electric
Диапазон измеряемых температур	-50...+100 °С
Погрешность измерения	±0,4%
Тип НСХ по ГОСТ 6651	Pt1000; Pt500; Pt100; 50M
Среда измерения	Теплоноситель: воздух

Таблица 4.4 – Информационная панель оператора

Модель	HMI HT3000-10W
Производитель	HNC Electric
Среда программирования	C++
Объем Retain-памяти	1020 байт
Объем памяти сетевых переменных (режим slave)	512 байт
Память ПЗУ	4 Гбайт
Память ОЗУ	512 кбайт
Интерфейс программирования	microUSB
Напряжение питания	=24+ В (номинальное =24 В)
Потребляемая мощность	не более 10 Вт
Коммуникационные возможности:	
Интерфейс RS-485 (1шт.), USB (1шт.)	
Протокол связи	Modbus RTU/ASCII
Режим работы	Master/Slave
Скорости работы интерфейса	9600, 19200, 38400, 115200 бит/с

Таблица 4.5 – датчик (преобразователь) влажности и температуры воздуха

Модель	SHR110-T
Производитель	Schneider Electric
Диапазоны измерений относительной влажности RH	0...95 %RH
Абсолютная погрешность измерения влажности	± 2 %
Абсолютная погрешность измерения температуры	-
Степень пылевлагозащиты	IP20
Поддерживаемые интерфейсы и протоколы	Modbus RTU RS-485
Выходной сигнал	4...20 мА

Новое оборудование:

Таблица 4.6 – Контроллер для средних систем автоматизации

Модель	ПЛК160 [M02]
Производитель	Овен
Озу	6 Мб
Кол-во дискретных входов	16
ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ	Не более 45 ВА
Степень защиты	Ip 20

Таблица 4.7 – Измерители

Модель	2ТРМ0.У2
Производитель	Овен
Напряжение питания переменного тока	~90...264 В (номинальное 230 В)
Частота напряжения питания	50, 60 Гц
Потребляемая мощность	не более 10 ВА
Напряжение встроенного источника питания нормирующих преобразователей	24 ± 2,4 В (только для исполнения без RS-485)
Максимально допустимый ток источника питания	50 мА
Количество универсальных входов	2
Предел основной приведенной погрешности измерения:	
- для термоэлектрических преобразователей с включенной компенсацией холодного спая	±0,5 %
- для остальных типов датчиков	±0,25 %

Таблица 4.8 – Датчики температуры

Модель	ДТС3xxx
Производитель	Овен
Диапазон измеряемых температур	-50...+120 °С
Погрешность измерения	±0,3% °С
Тип НСХ по ГОСТ 6651	Pt1000; Pt500; Pt100; 50М
Среда измерения	Теплоноситель: вода, воздух

Таблица 4.9 – датчик (преобразователь) влажности и температуры воздуха

Модель	ПВТ10
Производитель	ОВЕН
Диапазоны измерений относительной влажности RH	0...95 %RH
Абсолютная погрешность измерения влажности	$\pm 3,0 \%$
Абсолютная погрешность измерения температуры	$\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$
Степень пылевлагозащиты	IP20
Поддерживаемые интерфейсы и протоколы	Modbus RTU RS-485
Выходной сигнал	4...20 мА

Таблица 4.10 – Информационная панель оператора

Модель	ИПП120
Производитель	Овен
Среда программирования	<u>Owen Logic</u>
Объем Retain-памяти	1020 байт
Объем памяти сетевых переменных (режим slave)	512 байт
Память ПЗУ	128 кбайт
Память ОЗУ	32 кбайт
Интерфейс программирования	microUSB
Напряжение питания	=9...32 В (номинальное =24 В)
Потребляемая мощность	не более 2,5 Вт
Коммуникационные возможности:	
Интерфейс RS-485 (1шт.)	
Протокол связи	Modbus RTU/ASCII
Режим работы	Master/Slave
Скорости работы интерфейса	9600, 19200, 38400, 115200 бит/с

Таблица 4.11 – Датчики движения

Модель	EKF MS-39
Класс защиты (IP)	IP44
Номинальное напряжение	230 В
Монтаж	Открытый
Задержка включения	10с
Угол сканирования	180 °
Цена	346

Таблица 4.13 – Плата кондиционера

Модель	PI485
Интерфейс связи	RS-485
Номинальное напряжение	10 В
Монтаж	Закрытый

Система оповещения и защиты помещений от затоплений:

Система СОЗ-ЗП от производителя ОВЕН состоит из аппаратного шкафа (АШ-СОЗ) и соединённых с ним модулей датчиков-сигнализаторов затопления (УЗОВ). К каждому модулю подключается три датчика, что позволяет одному модулю УЗОВ контролировать три помещения (три комнаты). УЗОВ соединяется с АШ-СОЗ своим сигнальным двухпроводным кабелем. Это позволяет сформировать адрес аварии с точностью до трёх контролируемых помещений, что вполне достаточно для определения места аварии. Для повышения надёжности всей системы СОЗ-ЗП модульные устройства УЗОВ могут работать автономно и автоматически перекрывают подачу воды в защищаемые ими помещения.

Сигнал аварии передается в сеть Ethernet (может быть использована сеть Интернет). Таким образом, оповещение об аварии может быть доставлено и получено в диспетчерском пункте на любом удалении.

Система СОЗ-ЗП, оборудованная шкафами АШ-СОЗ, выполняет следующие функции:

1. Постоянный мониторинг состояния помещений;
2. Автоматическое прекращение подачи воды в аварийное помещение;
3. Оповещение удалённого диспетчера об аварии с сообщением адреса аварии;
4. Дублирование всех датчиков;
5. Защита от ложных срабатываний;
6. Возобновление подачи воды только после ручного подтверждения (квитирования) устранения причины аварии;
7. Резервирование питания для сохранения работоспособности системы на длительный срок (до 30 дней) при пропадании сетевого напряжения;
8. Возможность наращивания системы – количество защищаемых помещений практически не ограничено.

Были найдены отечественные аналоги уже имеющегося оборудования, со схожими характеристиками и в добавок установлено новое оборудование. Исходя из приведенных данных, можно сделать вывод, что оборудование марки ОВЕН, не только не уступает зарубежным аналогам, но и превосходит его в некоторых параметрах. А так же оно более доступно и рентабельно, как и по цене компонентов, так и за счет бесплатного программного обеспечения. К тому же установлена система защиты от затопления помещений, что позволит предотвратить ущерб от возможных непредвиденных ситуаций.

4.2 Контроль цифровых устройств по признаку четности

Известно, что техническая система, как правило, состоит из большого числа подсистем, которые между собой имеют определенную взаимную связь. Приступая к расчету надежности системы, предварительно устанавливают последовательность включения отдельных подсистем, а затем составляют

функциональную схему работы системы во времени при выполнении поставленной задачи.

Надежность системы рассчитывают в каждом интервале времени, в котором задействованы определенные подсистемы, при этом суммарное время работы системы будет соответствовать времени выполнения поставленной задачи. Не исключено, что отдельные подсистемы могут работать в течение всего периода времени выполнения поставленной перед системой задачи. В этом случае вероятность безотказной работы системы в течение всего временного интервала определяется выражением вида

$$P(t) = p_1(t_1)p_2(t_2) \dots p_n(t_n),$$

где t_1, t_2, \dots, t_n - интервалы времени, соответствующие вероятностям p_1, p_2, \dots, p_n .

Для определения вероятностей $p_1(t_1), p_2(t_2) \dots p_n(t_n)$ для каждого интервала времени работы системы составляют структурные схемы надежности. Расчет надежности на этапе проектирования проводят по справочным данным интенсивностей отказов элементов или используют статистические данные, полученные по результатам испытаний или эксплуатации элементов-аналогов в составе системы.

Порядок расчета надежности по справочным данным сводится к следующему.

В зависимости от заданных условий эксплуатации системы (температуры, влажности, нагрузки и др.) взятые из справочников по надежности значения интенсивностей отказов умножают на коэффициент условий применения K_u , который может быть больше или меньше единицы. Необходимо помнить, что справочные данные по интенсивностям отказов приводятся в основном для элементов электроавтоматики, так как эти элементы стандартизованы и выпускаются предприятиями промышленности с использованием примерно

одной технологии, а следовательно, и интенсивности их отказов мало отличаются.

Таким образом, чтобы установить интенсивность отказов элементов электроавтоматики, необходимо выполнить следующие этапы:

1) составить перечень элементов, указывая их название, а также число элементов, входящих в состав системы;

2) определить по справочнику интенсивности отказов;

3) найти коэффициенты условий применения K_u с помощью соответствующего расчета или графика по справочнику, учитывая нагрузку, температуру и др.;

4) перемножить интенсивности отказов на множители K_u . Это и будет интенсивность отказов при использовании элемента в данных условиях.

Такую же процедуру осуществляют для всех элементов системы.

Для проведения расчета составляют таблицу справочных данных, примером которой является таблица 4.14.

Так как в процессе эксплуатации элементы системы находятся как в рабочем состоянии, так и в состоянии хранения и транспортирования, то используют следующие формулы пересчета интенсивностей отказов:

$$\lambda_x = \lambda \cdot 10^{-3}; \lambda_T = 1,5\lambda; \lambda_{T,x} = 1,5\lambda_x.$$

При показательном законе распределения времени безотказной работы надежность элемента определяется из соотношения вида:

$$p_i(t) = \exp(-\lambda_i t + \lambda_{iT} t_T + \lambda_{ix} t_x).$$

При $(-\lambda_i t + \lambda_{iT} t_T + \lambda_{ix} t_x) \ll 1$:

$$p_i(t) \approx 1 - (-\lambda_i t + \lambda_{iT} t_T + \lambda_{ix} t_x).$$

Таблица 4.14 – Справочные данные для расчета надежности системы

Название и обозначение элемента	Интенсивность отказов	Коэффициент условий применения	Число n элементов в системе	Суммарная интенсивность отказов
Датчик Уровня	195	1,5	2	3250
датчики-сигнализаторы затопления (УЗОВ)	46	1,2	1	230
Датчик температуры и влажности ПВТ10	62,5	1,0	1	115

Приближенное значение среднего квадратического отклонения:

$$\sigma_{p(t)} = (\lambda_i + \lambda_{iT} + \lambda_{ix}) = -\ln p_i(t)/t.$$

Тогда вероятность безотказной работы и среднее квадратическое отклонение системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, определяют соответственно по формулам:

$$P_{i=1}^N(t) = \prod p_i(t) = \exp_{i=1}^N[-\sum(\lambda_i t + \lambda_{iT} t_T + \lambda_{ix} t_x)],$$

$$\sigma_{i=1}^N P(t) = [\sum \sigma^2 p(t)]^{1/2} = [\sum(\lambda_i + \lambda_{iT} + \lambda_{ix})^2]^{1/2}.$$

При расчете надежности механических, гидравлических и пневматических элементов и узлов чаще всего используют статистические данные по испытаниям или эксплуатации элементов-аналогов. При наличии статистических данных вероятность безотказной работы элемента вычисляют по формуле:

$$p_i(t) = 1 - \frac{m_i}{n_i},$$

где t - время одного цикла испытаний (работы); m_i и n_i - соответственно число отказов и объем испытаний i -го элемента.

В случае, если $m_i = 0$, то:

$$p_i(t) = 1 - \frac{1}{[2(n_i+2)]}.$$

Среднее квадратическое отклонение элемента определяют с помощью соотношений:

$$\sigma_{p(t)} = \{p_i(t)[1 - p_i(t)]/(n_i - 1)\}^{1/2} \text{ при } m_i \neq 0;$$

$$\sigma_{p(t)} = [1/2(n_i + 2)][(5n_i + 7)/(n_i + 3)]^{1/2} \text{ при } m_i = 0;$$

Вероятность безотказной работы и среднее квадратическое отклонение для системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, вычисляют соответственно по формулам:

$$P_{i=1}^N(t) = \prod p_i(t) = 1_{i=1}^N - \sum m_i/n_i;$$

$$\sigma_{i=1}^N P(t) = [\sum \sigma^2 p(t)]^{1/2}.$$

Если в системе предусмотрены различные виды резервирования, то при расчете надежности используют соответствующие формулы.

Для восстанавливаемых систем одним из основных показателей надежности является коэффициент готовности. Расчет коэффициента и его среднего квадратического отклонения проводят по формулам:

$$K_r = 1 - K_p - K_{рег},$$

где K_p - коэффициент ремонта системы:

$$K_p = \sum K_{ip},$$

здесь K_{ip} - коэффициент ремонта i -го элемента:

$$K_{ip} = T_{ip}/T_{iэ},$$

где T_{ip} - среднее время непланового ремонта i -го элемента за период его эксплуатации $T_{iэ}$:

$$T_{ip} = T_{iв} q_i S_i,$$

здесь $T_{iв}$ - среднее время восстановления одного отказа; q_i - вероятность отказа i -го элемента за время $t_{ц}$ одного цикла работы; S_i - число циклов работы i -го элемента:

$$S_i = T_{iв}/t_{ц}.$$

Три последние формулы справедливы для элементов, которые не контролируются в процессе их работы.

Для непрерывно контролируемых элементов коэффициент ремонта определяют по формуле

$$K_{ip} = T_{iв}/(T_{iв} + T_i),$$

где T_i - среднее значение наработки на отказ i -го элемента.

Среднее квадратическое отклонение коэффициента ремонта

$$\sigma K_p = (\sum \sigma^2 K_{ip})^{1/2},$$

где $\sigma K_{ip} \approx K_{ip}$; а коэффициент регламента – по формуле

$$K_{рег} = T_{рег}/T_э,$$

где $T_{рег}$ — время, затраченное на проведение регламента за период эксплуатации $T_э$.

Используемые справочные данные:

$t = 24$ ч – время работы в течение суток;

$T_{рег} = 240$ ч – время регламента (технического обслуживания), предусмотренное после каждого года эксплуатации ($T_э = 8760$ ч). Для удобства используем сокращения: ц. – цикл; от. – отказ.

Решение. По результатам анализа конструкторской документации установлено, что все элементы и узлы подвижной установки при выполнении ею работы функционируют в течение 6 ч в сутки. Составим структурную схему надежности изделия (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 - Структурная схема надежности изделия

Для расчета надежности элементов 1-3 структурной схемы используем статистические данные, полученные при испытаниях, а расчет надежности элемента 4 проводим по справочным данным.

Расчет надежности элемента 1. В соответствии с данными, полученными при эксплуатации металлоконструкций аналогичных изделий, предположим, что $t_1 = 5$ от.; $n_1 = 5000$ ц.; $t_{ц} = 24$ ч (длительность одного цикла работы) и $t_{1в} = 20$ ч (среднее время восстановления одного отказа). Далее, подставляя исходные данные в формулы, определим $p_1(t)$ и $\sigma p_1(t)$:

$$p_1(t) = 1 - \frac{m_1}{n_1} = 1 - \frac{5}{5000} = 0,999;$$

$$\sigma_{p_1(t)} = \{p_1(t)[1 - p_1(t)]/(n_1 - 1)\}^{1/2} = [0,999 \cdot 0,001/(5000 - 1)]^{1/2} = 0,004.$$

Для вычисления коэффициента ремонта и его среднего квадратического отклонения используем соотношения:

$$K_{1P} = \frac{T_{1p}}{T_{1з}} = \frac{m_1 t_{1в}}{n_1 t_{ц}} = 5 \cdot \frac{20}{5000 \cdot 24} = 0,0008;$$

$$\sigma_{K_{1p}} = K_{1p} = 0,0008.$$

Расчет надежности элемента 2. По результатам эксплуатации механических узлов аналогичных изделий имеем: $t_2 = 8$ от.; $n_2 = 4000$ ц.; $t_{ц} = 24$ ч и $t_2 = 12$ ч.

Подставляя исходные данные в известные формулы, получим:

$$p_2(t) = 1 - \frac{m_2}{n_2} = 1 - \frac{8}{4000} = 0,998;$$

$$\sigma_{p_2(t)} = \{p_2(t)[1 - p_2(t)]/(n_2 - 1)\}^{1/2} = [0,998 \cdot 0,002/(4000 - 1)]^{1/2} = 0,006,$$

$$K_{2P} = \frac{T_{2p}}{T_2} = m_2 \cdot \frac{t_{2B}}{n_2 \cdot t_{\Pi}} = 8 \cdot \frac{12}{6000 \cdot 24} = 0,0006,$$

$$\sigma_{K_{2p}} = K_{2p} = 0,0006.$$

Расчет надежности элемента 3. По результатам эксплуатации гидравлических узлов аналогичных изделий имеем: $t_3 = 15$; $n_3 = 3000$; $t_{ц} = 12$ ч; $t_3 = 12$ ч.

Подстановка исходных данных в известные формулы позволяет рассчитать:

$$p_3(t) = 1 - \frac{m_3}{n_3} = 1 - \frac{15}{3000} = 0,995,$$

$$\sigma_{p_3(t)} = \{p_3(t)[1 - p_3(t)]/(n_3 - 1)\}^{1/2} = [0,995 \cdot 0,005/(3000 - 1)]^{1/2} = 0,001,$$

$$K_{3P} = \frac{T_{3p}}{T_{3\phi}} = m_3 \cdot \frac{t_{3B}}{n_3 t_{ц}} = 15 \cdot \frac{12}{3000 \cdot 12} = 0,0025,$$

$$\sigma_{K_{3p}} = K_{3p} = 0,0025.$$

Расчет надежности элемента 4. Структурная схема надежности электроавтоматики (рисунок 4.2) представляет собой смешанное соединение элементов.

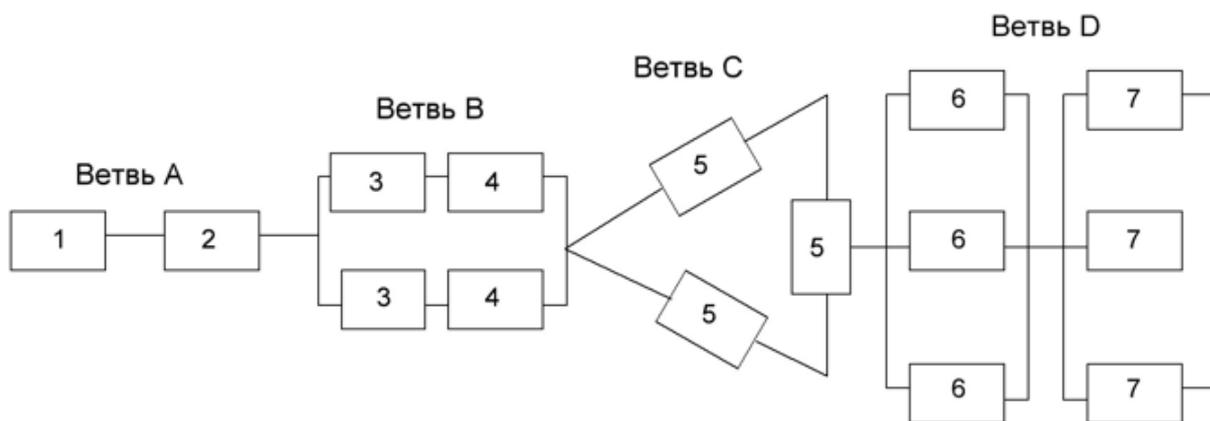


Рисунок 4.2 - Структурная схема надежности электроавтоматики

Составим таблицу исходных данных интенсивностей отказов (таблица 4.15).

Для расчета надежности элемента 4 представим структурную схему в виде четырех ветвей А, В, С и D и определим надежность каждой ветви.

Таблица 4.15. – Исходные данные для расчета надежности

Название элемента	Интенсивность отказов	Коэффициент условий применения	Число элементов в системе	Суммарная интенсивность отказов
Резистор	87,0	1	5	435
Датчик-сигнализатор затопления (УЗОВ)	46	1,2	1	230
Датчик уровня	195	1,5	1	3250
Датчик уровня	195	1,5	1	3250
Реле	43,4	1,2	1	52,08
Контактор	870	1	1	860
Датчик температуры и влажности ПВТ10	608	1	1	115

Ветвь А.

$$P_A(t) = \exp[-\sum(\lambda_p t + \lambda_x t_x)] = 1 - \sum(\lambda_p t + \lambda_x t_x) = 1 - [(435 + 230) \cdot 6 + (435 + 230) \cdot 18 \cdot 10^3] \cdot 10^{-6} = 1 - (0,022 + 0,00023)0,97;$$

$$\sigma P_A(t) = \lambda_p + \lambda_x = -\frac{\ln P_A(t)}{t} = -\ln \frac{0,97}{24} = \frac{0,013}{24} = 0,0005,$$

где λ_p – интенсивность отказов при работе; λ_x – интенсивность отказов при хранении.

Ветвь В. (показывает резервирование). Для расчета используем формулы:

$$P_B(t) = 1 - [1 - p(t)]^2 = 1 - (1 - 0,98112)^2 = 0,999644;$$

$$p(t) = \exp[-\sum(\lambda_p t + \lambda_x t_x)] \approx 1 - \sum(\lambda_p t + \lambda_x t_x) \approx 1 - [(3250 + 3250) \cdot 12 + (3250 + 3250) \cdot 18 \cdot 10^{-3}] \cdot 10^{-6} \approx 0,922117;$$

$$\sigma P_B(t) = -\frac{\ln P_B(t)}{t} = \frac{0,00007}{12} = 0,00000583.$$

Ветвь С (схема два из трех). При расчете используем формулу для схемы два из трех:

$$P_C(t) = p^3(t) + 3p^2(t)q(t) = 0,999374^3 + 3 \cdot 0,999374^2 \cdot 0,000626 = 0,99999;$$

$$p(t) = \exp[-\sum(\lambda_p t + \lambda_x t_x)] = \exp[-(52,07 \cdot 12 + 52,08 \cdot 10^{-3} \cdot 18) \cdot 10^{-6}] = 0,999374;$$

$$\sigma P_C(t) = -\frac{\ln P_C(t)}{t} = \frac{0,00001}{12} = 0,000012.$$

Ветвь D (поэлементное резервирование). При расчете воспользуемся формулой

$$P_D(t) = \{1 - [1 - p_6(t)]^3\} \cdot \{1 - [1 - p_\tau(t)]^3\} = (1 - 0,0104 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 - 0,001382 \cdot 10^{-6}) = 0,9999999;$$

$$p_6(t) = \exp[-(\lambda_p t + \lambda_x t_x)] = 1 - (\lambda_p t + \lambda_x t_x) = 1 - (860 \cdot 12 + 860 \cdot 10^{-3} \cdot 18) \cdot 10^{-6} = 0,9896,$$

$$p_\tau(t) = \exp[-(\lambda_p t + \lambda_x t_x)] = 1 - (\lambda_p t + \lambda_x t_x) = 1 - (115 \cdot 12 + 115 \cdot$$

$$10^{-3} \cdot 18) \cdot 10^{-6} = 0,998618,$$

$$\sigma P_D(t) = -\frac{\ln P_D(t)}{t} = \frac{0,0000001}{12} = 0,0083 \cdot 10^{-6}.$$

Надежность электроавтоматики равна:

$$p_4(t) = P_A(t) \cdot P_B(t) \cdot P_C(t) \cdot P_D(t) = 0,97 \cdot 0,922117 \cdot 0,9999 \cdot 0,9999999 = 0,89435,$$

$$\sigma_{p_4}(t) = \left[\sigma_{P_A(t)}^2 + \sigma_{P_B(t)}^2 + \sigma_{P_C(t)}^2 + \sigma_{P_D(t)}^2 \right]^{1/2} = [0,0005^2 + 0,00000583^2 + 0,000012^2 + (0,0083 \cdot 10^{-6})^2]^{1/2} \approx 0,0005.$$

Из практики известно, что среднее время восстановления электроавтоматики $T_{4B} = 6$ ч.

Вычислим коэффициент ремонта:

$$K_{4p} = \frac{T_{4B}}{T_{4B} + T_4} = \frac{6}{6 + 24,7} = 0,195.$$

$$\text{Где } \frac{1}{T_4} = -\frac{\ln P_4(t)}{t} = -\frac{\ln 0,89435}{12} = \frac{0,0485}{12} = 0,0404 \text{ 1/ч,}$$

$$T_4 = \frac{1}{0,0404} = 24,7 \text{ ч.}$$

Вероятность безотказной работы и среднее квадратическое отклонение изделия в целом соответственно равны:

$$P(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot p_3(t) \cdot p_4(t) = 0,999 \cdot 0,998 \cdot 0,995 \cdot 0,89435 = 0,8872,$$

$$\sigma_{P(t)} = \left[\sigma_{P_1(t)}^2 + \sigma_{P_2(t)}^2 + \sigma_{P_3(t)}^2 + \sigma_{P_4(t)}^2 \right]^{1/2} = (0,004^2 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0005^2)^{1/2} = 0,0072.$$

Найдем коэффициент ремонта изделия и среднее квадратическое отклонение:

$$K_{p_{i=1}}^4 = \sum K_{tp} = 0,0033 + 0,0033 + 0,005 + 0,031 = 0,0426;$$

$$\sigma_{Kp_{i=1}}^4 = (\sum K^2 tp)^{1/2} = (0,0033^2 + 0,0033^2 + 0,005^2 + 0,031^2)^{\frac{1}{2}} = 0,0037.$$

Вычислим коэффициент регламента:

$$K_{\text{рег}} = \frac{T_{\text{рег}}}{T_3} = \frac{240}{8760} = 0,027.$$

Определим коэффициент готовности:

$$K_r = 1 - K_p - K_{\text{рег}} = 1 - 0,0426 - 0,027 = 0,93.$$

Среднее квадратическое отклонение коэффициента готовности принимаем равным среднему квадратическому отклонению коэффициента ремонта:

$$\sigma_{Kr} = \sigma_{Kp} = 0,0037.$$

$$P(t) = 0,8872; \sigma_{P(t)} = 0,0072; K_r = 0,93; \sigma_{Kr} = 0,0037.$$

Выводы

Были рассмотрены современные проблемы энергоэффективности, основные проблемы импортозамещения, проанализированы и представлены возможные решения. Подводя итоги можно сказать, что внедрение «Internet of things» оптимизирует много аспектов, как энергоэффективности, так и мониторинга, защиты от внештатных ситуаций. Интеграция таких систем на территории республики Крым, позволит улучшить качество жизни граждан и вывести технологический уровень республики на новый уровень. А переход предприятий республики Крым на отечественное оборудование, позволит решить проблемы поставки, корректной работы и удаленного доступа и обслуживания.

Оборудование Российских брендов относительно лёгкое в обслуживании, технологичное, сравнительно низкое по цене и не имеет проблем с поставкой, обслуживанием, доступом к удаленным серверам. Существование собственной среды программирования сильно упрощает процесс интеграции комплектующих в различные системы. Не мало важно отметить, что замена оборудования на другую марку не повлечет за собой сбоев и разногласий систем, благодаря гибкости настроек и наличию всех видов интерфейсов связи.

Для системы «умный дом» в рамках проекта выбрано электрооборудования отечественных производителей (импортозамещение). Для датчиков входящих в эту систему, выполнен расчет надежности, рассмотрены подключаемые интерфейсы связи. Разработаны следующие схемы: схема электрическая объединённая «умного дома».

Список литературы

1. Соболев В.С. - Методы подавления низкочастотных помех электроэнергетических систем// Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: Материалы научного журнала «Современные Научноёмкие технологии» Москва, №8 2021 года / Общество с ограниченной ответственностью "Издательский дом "Академия Естествознания", 2021. – С. 118-123 – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46492759>, свободный. – Загл с экрана..
2. Соболев, В. С. Отказоустойчивые механизмы с адаптивной динамикой / В. С. Соболев // 72-я Международная студенческая научно-техническая конференция : Материалы конференции, Астрахань, 18–23 апреля 2022 года. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2022. – С. 420-422. – EDN HRJFST.3. Введение в специальность электроэнергетики и электротехника / Г.Л. Демидова, Д.В. Лукичев// Университет ИТМО, Санкт-Петербург 2017. – 44 с.
4. Виноградов, А. В. Определение электрических нагрузок трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ кольцевой электрической сети 10 кВ, содержащей реклоузеры / А. В. Виноградов, И. Н. Фомин, А. А. Лансберг // Физика и современные технологии в АПК : Материалы XII Всероссийской (с международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников, Орел, 16 декабря 2020 года / Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина. – Орел: Издательство Картуш, 2021. – С. 273-278. – EDN BYLWNN.
5. Automated Control System for Electric Drives with the Integration of Programmable Relays and Active Filters / A. S. Sobolev, S. G. Chernyi, V. S. Sobolev [et al.] // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 25–28 января

2022 года. – St. Petersburg, 2022. – P. 451-454. – DOI 10.1109/ElConRus54750.2022.9755494. – EDN HDMUZR.

6. Выбор и проверка линейных разъединителей [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/9087461/page:3/>

7. Интерфейсы, протоколы, стеки протоколов [Электронный ресурс]. URL: http://philipok4.narod.ru/Tuser7/Reference_Net.pdf.

8. Курсовое и дипломное проектирование судового электрооборудования и систем автоматики на рыбопромысловых судах: учебное пособие / С.П. Голиков [и др.], под общ. ред. С.П. Голикова. – Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2017. – 285 с.

9. Кучинский, А. В. Интеграционная шина для обработки больших данных / А. В. Кучинский, В. Н. Гутковский, И. И. Пилецкий // Big Data and Advanced Analytics. – 2020. – № 6-2. – С. 86-92. – EDN TIBYNQ.

10. Министерство Энергетики РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/539>

11. Область применения, выбор и расчет ОПН, установленных в сети 0,4-750кВ / Паперный Л.Е., Алейникова М.В. – Минск: Филиал БНТУ, 2015. – 44 с.

12. ОВЕН оборудование для автоматизации [Электронный ресурс]. URL: <https://owen.ru/>.

13. Овчинникова, И. А. Кабели для структурированных кабельных систем (LAN-кабели) и оптические кабели: прогноз производства / И. А. Овчинникова, М. В. Шолуденко // Кабели и провода. – 2018. – № 1(369). – С. 8-11. – EDN YRRQFV.

14. Патент № 2039952 С1 Российская Федерация, МПК G01K 5/62. способ регулировки температуры срабатывания в датчике сигнализатора температуры : № 5021481/10 : заявл. 09.01.1992 : опубл. 20.07.1995 / А. Г. Кирюнин, Н. П. Рюмин ; заявитель Акционерное общество "Автоприбор". – EDN RUIBNS.

15. Патент № 2311622 С1 Российская Федерация, МПК G01K 7/32. Способ установки сенсора в датчике температуры и датчик температуры с установленным таким способом сенсором : № 2006106696/28 : заявл. 03.03.2006 : опубл. 27.11.2007 / А. В. Артамонов, М. Д. Белоусов ; заявитель Закрытое акционерное общество промышленная группа «МЕТРАН». – EDN TKTFEZ.

16. Патент № 2461935 С1 Российская Федерация, МПК H02G 1/02, H02G 7/02. Высоковольтная воздушная линия электропередачи и способ возведения высоковольтной воздушной линии электропередачи : № 2011136363/07 : заявл. 01.09.2011 : опубл. 20.09.2012 / В. Н. Карнаушенко, Д. И. Дамиров, В. Ф. Кузин [и др.]. – EDN GGBJGU.

17. Патент № 2667084 С2 Российская Федерация, МПК H01F 27/02, H01F 27/38, H01F 27/20. Ограждение для трансформатора напряжения и соответствующий трансформатор напряжения : № 2016114426 : заявл. 30.12.2014 : опубл. 14.09.2018 / Ц. Ван, С. Х. Чжан. – EDN WQGROT.

18. Патент № 2696248 С2 Российская Федерация, МПК H01F 38/30, H01F 38/38, H01F 27/06. Трансформатор тока и распределительное устройство с трансформатором тока : № 2017141856 : заявл. 12.05.2016 : опубл. 01.08.2019 / В. Кнаб, В. Вайднер. – EDN CRNRRG.

19. Патент № 2758978 С1 Российская Федерация, МПК G01K 11/32, H02H 5/04. Система управления и мониторинга распределительных устройств и кабельных линий трансформаторных подстанций : № 2020139120 : заявл. 19.05.2020 : опубл. 03.11.2021 / Д. Ю. Мячин, Д. С. Виноградов, А. Н. Захарченко, Т. В. Рябенко ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Титан Инжиниринг». – EDN JWGXHX.

20. Патент на полезную модель № 12874 U1 Российская Федерация, МПК H02B 5/00. Трансформаторная подстанция : № 99117447/20 : заявл. 09.08.1999 : опубл. 10.02.2000 / Э. Н. Якунин, В. Н. Разгуляев, А. С. Снетков ; заявитель Закрытое акционерное общество «Великолукский завод высоковольтной аппаратуры». – EDN CSGXGU.

21. Патент на полезную модель № 201070 U1 Российская Федерация, МПК H02G 3/04. Кабель-канал для укладки проводов и/или кабелей : № 2020130449 : заявл. 16.09.2020 : опубл. 25.11.2020 / Д. В. Назаров, Е. М. Ойстачер. – EDN TEYYUKT.

22. Патент на промышленный образец № 42057 Российская Федерация. Набор датчиков уровня жидкости : № 93042009 : заявл. 25.08.1993 : опубл. 16.02.1996 / Н. В. Талалаев, В. П. Соломатин, А. А. Петров [и др.] ; заявитель Рязанский завод металлокерамических приборов. – EDN FJPRCQ.

23. Расчеты режимов работы трансформаторов / Г.В. Меркурьев, Я.А. Цирель. – Санкт-Петербург: Центр подготовки кадров энергетики, 2004. – 20 с.

24. Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации(МГС) / ГОСТ 2 1 . 2 1 0, 2014. – 2 – 12 с .

25. Штаева, О. В. Потери электроэнергии в трансформаторных подстанциях / О. В. Штаева // Молодежь и XXI век – 2015 : материалы V Международной молодежной научной конференции: в 3-х томах, Курск, 26–27 февраля 2015 года / Ответственный редактор: Горохов А.А.. Том 3. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. – С. 249-250. – EDN TOXXAP.