

Санкт-Петербургский государственный университет
Кафедра компьютерных технологий и систем

Богомолов Роман Вячеславович

Магистерская диссертация

Элементы системы домашней автоматизации

Направление 02.04.02

Фундаментальная информатика и информационные технологии
Магистерская программа «Автоматизация научных исследований»

Научный руководитель,
кандидат физ.-мат. наук,
доцент Лепихин Т. А.

Санкт-Петербург

2016

Оглавление

Введение	4
Постановка задачи	6
Глава 1. Определение требований и выбор оптимального решения	7
1.1. Обзорно-аналитическая часть	7
1.1.1. Интерфейс 1-wire	8
1.2.1. Промышленные шины BUS	9
1.2. Формирование требований	10
1.3. Анализ имеющихся систем управления. Выбор оптимального подхода	11
1.3.1. Исследование существующих подходов	12
1.3.2. Разработка собственной системы управления «умным домом»	14
1.3.3. Объединение первого и второго подходов	14
1.4. Выводы	15
Глава 2. Разработка архитектуры элементов системы управления «умным домом»	17
2.1. Концепция системы «умный дом». Выбор технологий	17
2.2. Архитектура элементов системы управления «умным домом»	19
2.2.1. Архитектура аппаратных средств	19
2.2.2. Выбор аппаратных средств «умного дома»	23
2.2.3. Архитектура микросети 1-wire	27
2.2.4. Архитектура системы освещения	28
2.2.5. Программная архитектура	30
2.3. Реализация схемы управления «умным домом»	32
2.4. Описание полученных результатов	32
Глава 3. Разработка алгоритма функционирования системы	34
3.1. Алгоритм системы управления освещением	34
3.2. Алгоритм системы управления микроклиматом	35
3.3. Выбор закона регулирования	36
3.2.1. Пропорциональный регулятор	36

3.2.2. Пропорциональный интегральный регулятор . . .	38
3.2.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор	39
3.4. Вывод	41
Глава 4. Описание реализованной системы	42
4.1. Web-интерфейс «умного дома»	42
4.2. Аппаратная реализация	43
Заключение	44
Список литературы	45

Введение

Последние десятилетия характеризуются ускоренными темпами проникновения информационных технологий во все сферы жизни человека. В частности, компьютерные системы в корне изменили характер взаимодействий между людьми, а также между человеком и машиной. Причем последнее заслуживает особого внимания, поскольку технологии развиваются крайне стремительно и требуют постоянной адаптации для их использования. Одним из направлений развития компьютерных и информационных технологий, взаимодействующих с человеком, являются экосистемы, так называемые «системы умного дома». Новые эффективные средства коммуникации позволяют обеспечить гибкий контроль инженерных систем, входящих в единую экосистему.

С каждым днем, мы всё больше и больше доверяем решение наших бытовых проблем компьютерной технике. То, что раньше было лишь научной фантастикой, сегодня является реальностью. Современные инженерно-технические системы позволяют с легкостью делегировать поддержание комфорта и уюта в доме, обладающего способностью простого регулирования характеристиками системы, компьютерным технологиям. На сегодняшний день, домашняя автоматизация или «умный дом» становится нормой жизни.

Под «умным домом» понимается система, которая по заранее определенным правилам, принимает решение по управлению инженерными устройствами, основываясь, на поступающей извне информации (данные с датчиков света, температуры, газа, камер наружного видеонаблюдения и др.). Кроме этого, «умный дом» должен коммуницировать не только с имеющимися компонентами системы, но и с интернет-сервисами.

Характерной чертой «умного дома», в отличие от прочих методов формирования жизненного пространства, в большей мере является авангардный путь коммуникации человека и жилого пространства, обладающий возможностью задания желаемой ситуации с помощью передачи инструкции автоматической системе, которая в соответствии с определенным заранее алгоритмом, предопределяет и проверяет режимы функционирования всех электрических и инженерных систем.

В случае, когда система «умный дом» полностью настроена и адап-

тирована под нужды конкретного «владельца», необходимость использования различных привычных средств управления техническими устройствами, такими как: пульт дистанционного управления телевизором, электровыключатели, различные управляющие модули систем отопления и вентиляции, системы видеоконтроля и оповещения, несколько теряется. Это обусловлено тем, что система «умный дом», согласно своему предназначению и названию, самостоятельно берет на себя частичное или полное управление компонентами системы. В доме, оборудованном системой домашней автоматизации, для выбора одного или нескольких предпочтительных сценариев развития, достаточно произнесения голосовой команды или одного нажатия на сенсорную панель, в качестве которой может выступать планшетный компьютер, смартфон. Автоматическая система анализирует пожелание «владельца» и производит настройку работы всех подсистем для обеспечения комфортной обстановки внутри дома, в зависимости от периода времени, дня недели, имеющихся метеоусловий, уличной освещенности. Однако стоит заметить, что во всех подобных системах, вопросы эффективности функционирования и надежности управления подсистемами должны быть поставлены на первое место.

Из общепринятой тенденции развития социума в целом, и технических систем в частности, следует, что для улучшения личной жизни и повышения эффективности работы инженерных систем, необходимо внедрение систем домашней автоматизации, использующих современные технологические устройства, программное обеспечение, вспомогательное оборудование и т.п. Кроме того, не стоит забывать, о необходимости учета всевозможных достоинств и недостатков существующих и проектируемых систем.

Постановка задачи

Целью данной работы является разработка системы управления элементами «умного дома», позволяющая регистрировать показания датчиков температуры, осуществлять управление системой освещения и микроклимата.

В связи с вышеизложенной целью, были сформулированы следующие **задачи**:

1. Проведение анализа существующих систем и технологий, с помощью которых возможно построение системы домашней автоматизации, удовлетворяющей поставленной цели.
2. Формирование требований к системе.
3. Анализ и обоснование подхода для построения системы «умный дом».
4. Исследование и осуществление выбора аппаратных средств.
5. Интеграция комплексной системы на основе выбранных компонентов:
 - построение архитектуры «умного дома»;
 - выполнение программной реализации, на основании выбранного подхода.
6. Разработка высокоуровневой логики работы имеющейся системы:
 - выполнение управления системой микроклимата по оптимальному закону регулирования;
 - разработка способа управления системой освещения.
7. Реализация удобного интерактивного пользовательского web - интерфейса.

Глава 1. Определение требований и выбор оптимального решения

В данной главе проводится обзор существующих технологий, предназначенных для решения поставленных в работе задач. Осуществляется анализ систем, объединяющих в себе следующие технологии: протокол 1-wire, промышленные шины BUS. Приводится заключение относительно достоинств и недостатков данных систем. Формулируются требования к разрабатываемому решению, проводится выбор оптимального подхода, позволяющего в полной мере описать необходимый функционал для того, чтобы минимизировать затраты как финансовые, так и временные.

1.1. Обзорно-аналитическая часть

Рост популярности автоматизированных инженерных систем, примером которых может служить «умный дом», обусловлен стремлением человека к более удобной и комфортной жизни. «Умный дом», как средство приближения к комфорту, является современным инструментом, который интуитивно реагирует на действия своего «владельца», предугадывает поведение, контролирует инженерные системы и планирует события.

«Умный дом» является совокупностью стандартов, которые осуществляют интеграцию приборов различного типа в единую систему управления. В рамках данной работы были исследованы следующие возможности «умного дома»:

- Управление микроклиматом (отопление, охлаждение).
- Управление электропитанием (система освещения).
- Система удаленного управления (web-интерфейс).

На сегодняшний день, существуют следующие проводные технологии, которые помогают в построении управления данными системами: интерфейс 1-wire, промышленные шины BUS и др. Рассмотрение беспроводных технологий, таких как Z-Wave, X10, ZigBee и др. в рамках данной работы не проводится.

1.1.1. Интерфейс 1-wire

Интерфейс 1-wire был разработан в конце 1990 годов компанией Maxim Integrated. Он нашел свое применение как в системах домашней автоматизации, так и в промышленных системах.

К преимуществам микросети 1-wire можно отнести следующие характеристики [11]:

- простота конфигурации сети;
- низкая стоимость;
- легкодоступность и простота компонентов;
- невысокие требования к шине;
- значительная протяженность линии (до 300 м.);
- открытый протокол и доступное программное обеспечение;
- возможность обходиться без электропитания в определенных условиях (при протяженности сети до 5 м.).

Помимо существующих достоинств, данная технология обладает следующими недостатками:

- низкая скорость передачи данных (до 100 Кб/с);
- обязательное наличие мастера (ведущего) сети.

Произведем подробное рассмотрение наличия мастера сети [11].

Устройства сети 1-wire, с точки зрения организации обмена данными, являются ведомыми (пассивными) элементами цепи. Без специального запроса, компоненты 1-wire не могут отправлять данные в сеть, а это означает, что в устройствах не предусмотрена возможность взаимодействия между элементами без «активного» ведущего (мастера).

Таким образом, для активации, контроля и управления работой сети и подключенными к ней устройствами обязательно наличие мастера

сети, который может быть только один. Мастер 1-wire линии может по-разному работать со своими ведомыми элементами, данная характеристика обусловлена используемым программным обеспечением. Но, в конечном итоге, только мастер сети, может посылать запрос для получения данных и определения состояния конкретного элемента. В частности, если в режиме реального времени необходимо осуществить вывод значений с множества температурных датчиков, то мастер 1-wire линии будет синхронно посылать запрос каждому датчику и ждать от него ответа. Присылать ответ ведущему сети может только одно устройство.

Мастером сети может выступать микроконтроллер, который, при наличии соответствующего программного обеспечения, одним из своих портов ввода-вывода напрямую подключен к сети 1-wire. В качестве ведущего сети может выступать компьютер, который использует специальные элементы сопряжения, позволяющие соединять 1-wire с COM-портом или USB-портом, такие как *DS90C03* или *DS90C04* соответственно.

1.2.1. Промышленные шины BUS

В системах домашней автоматизации нашли свое применение различные промышленные шины, такие как: CEBus, EIB, BatiBus, LonTalk / LonWorks, CAN, Modbus, LIN и т.д. Для связи между компонентами системы требуется прокладка двух, трех или четырехжильных кабелей по принципу общей шины (BUS). В отличие от интерфейса 1-wire, в таких системах не требуется наличие ведущего (мастера) сети, т.е. все элементы могут поддерживать связь друг с другом напрямую. Благодаря такому подходу в несколько раз возрастает надежность и скорость работы системы. С другой стороны, это влечет усложнение схемотехники, увеличение стоимости модуля и затруднение построения программного управления системы.

Примерами существующих систем, построенных на промышленных шинах, могут служить:

- INSYTE (серия LanDrive, RS485), контроллеры, ИК-трансиверы, диммеры, релейные модули и т.д.
- iNELS (CAN)

Использование промышленных стандартов не ограничивается их применением только в промышленных системах, они имеют место быть и в системах домашней автоматизации. Ярким примером подобного применения могут служить микросхемы ATMEGA88/ATMEGA168, которые снабжены драйвером промышленной шины LIN, для шины CAN – AT90CAN / ATmega48 / PIC18F2580, трансивер MCP2510.

Можно выделить следующие преимущества таких шин:

- наличие хорошо документированных спецификаций;
- поддержка этих решений во многих устройствах, микросхемах и готовых модулях;
- помехозащищенность шины, в следствие стандарта RS-485, который использует балансный метод для передачи данных;

Данные преимущества влекут за собой следующие недостатки:

- высокая стоимость модулей системы;
- сложность проектирования архитектуры системы;
- для программирования микроконтроллеров необходимо обладать значительным запасом узкоспециализированных знаний и опытом.

1.2. Формирование требований

В ходе проектирования элементов системы «умный дом», в рамках данной работы, были определены следующие базовые направления автоматизации:

1. Управление системой освещения.
2. Наблюдение и анализ текущего температурного режима.
3. Управление системой отопления.
4. Управление системой охлаждения.
5. Отображение системы управления в виде web-интерфейса.

Также были сформулированы базовые сценарии-последовательности действий системы:

- в случае, если температура превышает заданный максимум – осуществляется включение охлаждения по оптимальному алгоритму;
- в случае, если температура опускается ниже заданного минимума – производится включение обогревателя по оптимальному алгоритму;
- включение / отключение выбранного потребителя электроэнергии по нажатию кнопки из web-интерфейса;
- отключение всех потребителей электроэнергии по нажатию одной кнопки из web-интерфейса;

Разрабатываемое решение должно в полной мере обеспечить выполнение данных сценариев. В соответствие с вышеизложенным, можно сформулировать требования, которым должна удовлетворять разрабатываемая система домашней автоматизации:

- считывание показаний с датчиков температуры;
- управление системой освещения;
- управление системой охлаждения и отопления по оптимальному алгоритму;
- разработка интуитивно-понятного web-интерфейса;
- графическое отображение показаний с датчиков температуры;
- возможность включения/отключения потребителей из web-интерфейса.

1.3. Анализ имеющихся систем управления. Выбор оптимального подхода

На сегодняшний день, имеется значительное количество способов решения поставленных в данной работе задач. Существуют следующие подходы к их решению:

1. Выбор готовой системы управления «умным домом».
2. Разработка собственной системы.

Для ответа на вопрос, относительно выбора способа решения, были сформулированы следующие шаги:

1. Составление списка готовых решений (в том числе тех, которые только частично удовлетворяют поставленным требованиям).
2. Анализ и подробное рассмотрение составленного списка.
3. В случае, когда решение не подходит для поставленной задачи – изменение задачи на альтернативную, не уступающую исходной по функциональности.
4. Если ни одно из существующих решений не удовлетворяет поставленным задачам – определение целесообразности дальнейших действий:
 - разработка общего решения, вместо решения узкой задачи;
 - написание тестов и документации.

Проведем сравнительный анализ вышеизложенных способов решения поставленных задач.

1.3.1. Исследование существующих подходов

Одним из самых распространенных путей решения разработки системы домашней автоматизации является использование готовых систем управления «умным домом». Рассмотрим некоторые из них:

1. Node-Red – представляет собой инструмент с открытым исходным кодом, разработанный компанией IBM, позволяющий создавать приложения, соединяя готовые компоненты. Эти компоненты могут быть устройствами, WEB API или онлайн-службами. Существенным недостатком является отсутствие визуализации [13].
2. SmartVISU – оптимальное решение для быстрой и недорогой установки системы KNX. Компоновка/конфигурация виджетов происходит только через конфигурационный текстовый файл, это является

значительным недостатком данной системы управления. Преимуществом является наличие интуитивно-ясной визуализации [16].

3. MajorDoMo – открытая программная платформа для автоматизации домашних процессов. Является кроссплатформенной, но имеет один большой недостаток – ограниченное число решаемых задач. Поддерживает только самые популярные устройства из линейки соответствующей технологии (например, поддерживает только контроллер RaZZbery из всего многообразия контроллеров технологии Z-wave) [12].
4. NetPing – система мониторинга окружающей среды. Разработчиком и производителем устройств является российская компания «Alentis Electronis». Основная сфера применения – удаленный контроль и мониторинг. Позволяет осуществлять весьма ограниченное количество подключаемых датчиков (до 16 датчиков на 1 устройство). Не удобный и относительно интуитивно непонятный встроенный Web-интерфейс. Сам производитель рекомендует использование стороннего программного обеспечения, например Zabbix, Nagios, PRTG Network [14].
5. OpenRemote – система автоматизации жилых и промышленных помещений. Позволяет создавать мобильное приложение для «умного дома» без навыков программирования. Поддерживает ограниченное количество технологий, такие как KNX, AMX, Z-Wave. Проще говоря, является конструктором, который служит для создания интерфейса мобильного приложения [15].
6. HomeSapiens – интеллектуальная система с голосовым управлением. Также, как и OpenRemote, поддерживает ограниченное количество технологий, такие как Z-wave, Gira, ZigBee, x10, C-Bus. Основной акцент разработчиков направлен на рекламу голосового управления и удобного интерфейса [10].
7. Freedomotic – программное обеспечение с открытым исходным кодом для процессов домашней автоматизации. Является кроссплатформенной. Основная задача – предоставление энтузиастам возможности самостоятельного создания системы управления «умным домом», с ис-

пользованием самодельного оборудования или готовых решений популярных архитектур [9].

8. AgoControl – не бесплатная законченная промышленная система. Отлично подойдет для бюджетной системы автоматизации. Поддерживает минимальный набор протоколов и сценариев, имеет web-интерфейс [7].
9. Fibaro – система домашней автоматизации, поддерживает только беспроводную технологию Z-Wave. Закрытая система. Удобный для использования web-интерфейс [8].

1.3.2. Разработка собственной системы управления «умным домом»

Следующим этапом является разработка собственной системы управления «умным домом».

Разработка программного продукта с «нуля» весьма непростая задача, даже с учетом опыта промышленной разработки, потенциала у данного начиная практически нет – с огромной долей вероятности это будет узкоспециализированное решение, жестко привязанное к конкретным компонентам системы. В ходе построения архитектуры системы можно допустить недочеты, которые в дальнейшем невозможно будет исправить.

Разработка собственного решения требует больших финансовых и временных затрат, по сравнению с использованием «коробочного» продукта. Также не стоит забывать, что процесс разработки – это очень ответственное занятие, требующее продуманной методологии разработки и четкой организации трудового процесса.

1.3.3. Объединение первого и второго подходов

Суть этого подхода заключается в использовании готовой платформы, которая служит сервером «умного дома», и реализации собственных модульных «драйверов», посредством которых осуществляется взаимодействие с системами и устройствами разного вида.

Выбор данного подхода позволяет осуществлять реализацию слож-

ных сценариев и создавать графические интерфейсы с минимальными временными затратами.

1.4. Выводы

Анализ функциональных требований, предъявляемых к разрабатываемой системе домашней автоматизации, и трех основных подходов, позволил сделать следующие выводы:

1. Применение первого подхода, т.е. использование готовых систем управления «умным домом», имеет ряд преимуществ:
 - проверенная временем технология;
 - существование готовых модулей, с помощью которых можно решить поставленные задачи.

Данный подход обладает следующими недостатками:

- высокая цена модулей системы;
- отсутствие гибкости управляющего модуля;
- ограниченные возможности;
- закрытость технологий и/или протоколов и/или схемотехники;
- отсутствие или недостаточные возможности для сопряжения с другими системами «умного дома».

С учетом имеющихся преимуществ и недостатков использования готовых систем управления, было принято решение отказаться от их применения, т.к. готовое решение не способно покрыть в полной степени весь функционал, закладываемый в систему, и не поддерживает совокупность выбранных технологий.

2. Использование второго подхода, а именно разработка собственной системы управления «умным домом», во избежание получения «половинчатого» решения, также является не оправданным. При решении узкой задачи отсутствует смысл разработки общего решения, т.е. основная проблема заключается в узкой специализации и осложнении дальнейшего расширения системы.

3. Использование третьего подхода, в рамках данной работы, наиболее оправдано, т.к. оно удовлетворяет всем поставленным требованиям. Преимуществом данного подхода является:

- низкая цена модулей системы;
- гибкость управляющего модуля;
- функциональность;
- совместимость, на первый взгляд, несовместимого оборудования.

Но и этот подход не обделен недостатками:

- отсутствие готовых модулей;
- отсутствие технической поддержки.

Таким образом, система домашней автоматизации должна строиться на открытых стандартах, протоколах, из доступных в любом магазине компонентов, имеющих относительно низкую стоимость. Благодаря этому, существует возможность получения законченного решения для комплексного программного обеспечения автоматизации «умного дома».

Глава 2. Разработка архитектуры элементов системы управления «умным домом»

На основании выводов, сформулированных в первой главе было принято решение о использовании третьего подхода в построении системы «умный дом». В текущей главе рассматриваются вопросы относительно выбора технологий, применяемых для построения системы домашней автоматизации, производится описание разработанной аппаратной и программной архитектуры, осуществляется выбор устройств для системы управления «умным домом».

2.1. Концепция системы «умный дом». Выбор технологий

Концепция системы «умный дом» предполагает новый подход в построении жизненного процесса, в котором, на основе объединения различного комплекса инновационных технических решений, создается единая система автоматизированного управления, предоставляющая возможность значительно увеличить эффективность функционирования и надежность управления всех систем жизнеобеспечения.

Главной особенностью систем домашней автоматизации является объединение сепаратных подсистем различных производителей в унитарный автоматизированный комплекс. Данный комплекс имеет ключевые позиции, которые направлены на:

1. Обеспечение комфорта. Достигается путем слаженного взаимодействия всех подсистем между собой, включающих в себя:
 - электропитание – система работает бесперебойно, отключение сервера не скажется на функционировании систем домашней автоматизации;
 - освещение – при возникновении проблем с сервером, логика работы системы освещения не нарушается;
 - микроклимат – системы отопления и кондиционирования работают в единых режимах, позволяющих устанавливать комфорт-

ную температуру.

2. Снижение расхода электроэнергии, в следствие внедрения оптимальных алгоритмов управления энергопотребителями.
3. Постоянный контроль и управление, за счет внедрения единой системы управления. Средством управления системы «умный дом» может быть любое устройство, подключенное к внутренней сети.

Для реализации рассмотренной концепции наиболее целесообразно использовать:

1. Сетевую технологию Ethernet для построения системы управления освещением. Такое решение было принято по следующим причинам [1]:
 - распространенность;
 - надежность. Стандарт Ethernet, на протяжении длительного времени использования, проявил себя как надежная среда для передачи данных. Невысокая восприимчивость к помехам, встроенный аппарат борьбы с коллизиями. Топологией сети стандарта Ethernet 10/100Base-T является звезда, и если произойдет неисправность в сети, то проблемы возникнут лишь в одном из лучей, а это никак не повлияет на эксплуатацию остальной части сети;
 - скорость. Шина Ethernet позволяет достичь мгновенной реакции системы «умный дом» на любые события;
 - расширяемость. Важнейшей особенностью создания системы домашней автоматизации на стандарте Ethernet, является осуществимость применения проработанных сетевых технологий, которые обеспечивают гибкость системы управления домашней автоматизации.
2. Для контроля состояния температурного режима, который является составной частью системы управления микроклиматом, разумно использовать протокол передачи данных 1-wire, по следующим причинам:

- отказоустойчивость. Важной особенностью технологии 1-wire является терпимость к ошибкам монтажа и различным нештатным ситуациям;
- надежность. Используя рекомендации по монтажу, можно добиться высокой надежности шины. К этим рекомендациям относятся:
 - использование в качестве мастера сети *DS9490R#*;
 - использование кабеля UTP 5 категории (крайне желательно экранированного);
 - обеспечение заземления экрана шины;
 - использование максимально коротких отводов от шины в случае крайней необходимости;
 - использование для питания модулей стабилизированного напряжения;
- простота технической реализации.

2.2. Архитектура элементов системы управления «умным домом»

После выбора основных технологий, необходимо определиться с архитектурой аппаратных средств разрабатываемой системы управления элементами «умного дома». Сделав выбор в пользу одной из архитектур, нужно выбрать устройства, используемые для построения системы домашней автоматизации, удовлетворяющей поставленным требованиям.

2.2.1. Архитектура аппаратных средств

Для построения системы управления элементами «умного дома» существуют два совершенно разных принципа: централизация (или распределенный принцип) и децентрализация [6]. Рассмотрим эти принципы более подробно:

1. **Децентрализованный** принцип управления «умным домом» представлен на рисунке 1.

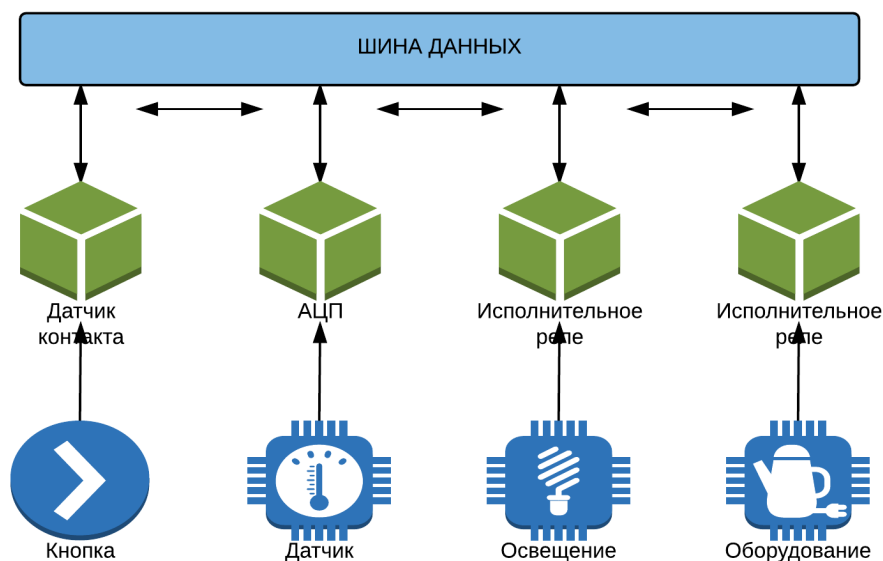


Рис. 1 Децентрализованный принцип управления «умным домом»

При таком принципе построения все элементы «умного дома» работают независимо. Они могут делиться информацией, передавать между собой команды, но центральный контроллер, который мог бы брать на себя функции сбора этой информации, отправки команд и принятие решений, отсутствует. С учетом такой организации, а также, принимая во внимание, что вычислительные средства отдельных компонентов очень малы, при децентрализованном принципе практически невозможно реализовать высокоинтеллектуальные алгоритмы управления. В большинстве случаев, это очень простые схемы, которые трудно назвать по-настоящему «умными».

Достоинства децентрализованных систем:

- Из-за отсутствия центрального контроллера, выход из строя одного или нескольких модулей существенно не влияет на работу системы в целом, следовательно, такая система отличается повышенной надежностью.
- Децентрализованные системы просты в расширении. В системах данного вида достаточно проста процедура добавления нового модуля на имеющуюся шину, поддерживающего протокол передачи данных этой шиной.

К недостаткам децентрализованных систем можно отнести:

- Высокая стоимость подобных систем, относительно централизованных.
- Достаточно низкая скорость работы децентрализованных систем, в следствие проведения процедуры обработки данных в разных модулях.
- Возникновение технических сложностей и увеличение размера системы в силу того, что модули (датчики, исполняемые устройства) обладают собственными контроллерами обработки данных.

2. **Централизованный (или распределенный)** принцип управления «умным домом» представлен на рисунке 2:

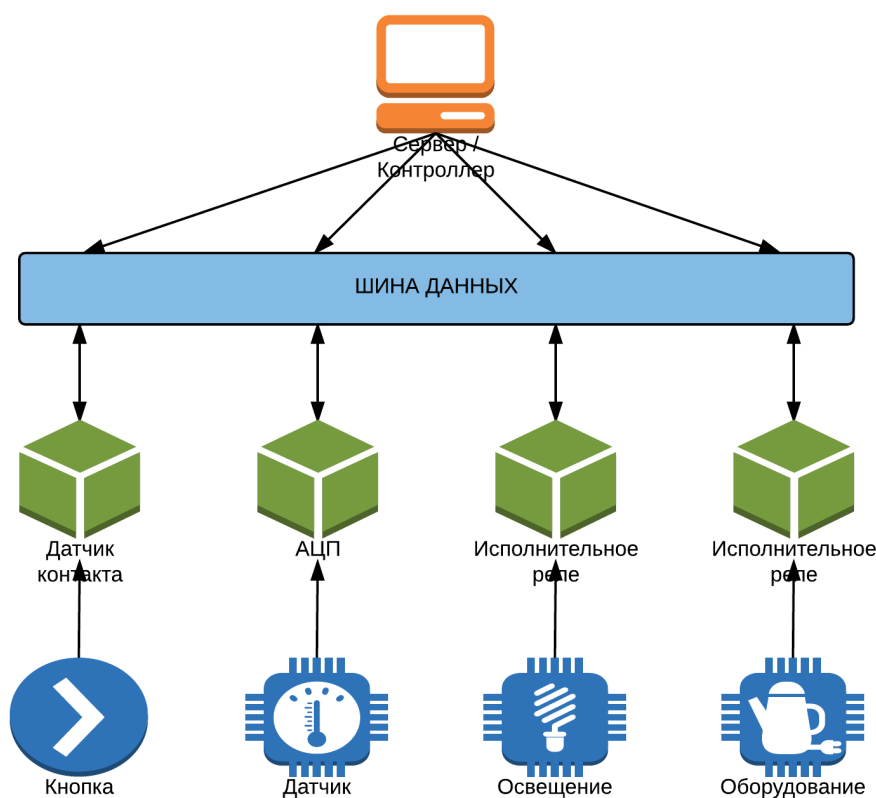


Рис. 2 Распределенный принцип управления «умным домом»

Данный принцип принципиально отличается от децентрализованного: каждый компонент системы находится под управлением центрального контроллера или сервера, которым может выступать компьютер, микроконтроллер и т.д. Все события обрабатываются сервером, именно он выносит решение

относительно последующих действий: что включать, а что нет. Централизованный принцип является высокоперспективным, если брать во внимание реализацию высокоинтеллектуальных алгоритмов. Потенциал системы прямо пропорционально зависит от ресурсов сервера. Кроме управления системами освещения, отопления, вентиляции, безопасности и другими инженерными системами, рассматриваемый «умный дом» способен решать такие ресурсоемкие задачи, как видеонаблюдение, мультимедия, распознавание речи и образов и др.

К достоинствам централизованного подхода, можно отнести:

- Возможность построения сложных систем управления «умным домом». Сервер обладает достаточной производительностью и несет актуальную информацию о подключенных к нему модулей.
- Высокая скорость обработки информации относительно систем, основывающихся на децентрализованном принципе, так как сбором информации с модулей занимается сервер, минуя модульную обработку.
- Компактность, техническая простота и низкая стоимость модулей (датчиков, исполнительных устройств).

Единственным недостатком данных систем является:

- Надежность (при выходе из строя сервера, вся система перестает функционировать).

Анализируя совокупность достоинств и недостатков обоих подходов, можно сделать вывод, что в рамках данной работы, использование централизованного подхода, как основного, в построении системы «умного дома» наиболее оправдано. Только при таком подходе возможно реализовать систему, которая будет удовлетворять концепции в построении системы «умный дом».

В тоже время, не стоит забывать о достоинствах децентрализованных систем управления, т.к. достоинства присущие такой модели являются недостатками централизованной системы управления. Применение децентрализованного подхода в совокупности с централизованным рекомендуется применять в наиболее ответственных узлах системы управления «умным домом». Такое дублирование, в рамках данной работы, применяется

в системе реализации управления освещением. Без применения децентрализованного подхода в этой системе, при возникновении сбоев на сервере, управление освещением будет невозможным, поэтому в целях предотвращения таких ситуаций, было принято решение применения совокупности подходов. Для реализации архитектуры данного вида, применение децентрализации должно быть заложено в логике работы контроллера освещения, поэтому при выборе контроллера данная особенность была учтена.

2.2.2. Выбор аппаратных средств «умного дома»

В связи с выбором централизованного подхода, как основного, в построении системы управления элементами «умного дома» необходимо определиться с сервером. Для повышения надежности системы, было принято решение о использовании совокупности подходов для реализации управления освещением. Кроме этого, в связи с вышеизложенным, необходимо осуществить выбор контроллера освещения.

Выбор сервера для «умного дома»

Самым распространенным решением является использование персонального компьютера (ПК). Подобный выбор имеет ряд недостатков:

- необходимость наличия свободного места для установки ПК;
- высокий уровень шума;
- значительное потребление электроэнергии ПК.

На сегодняшний день, имеется ряд альтернатив персональным компьютерам, это, в первую очередь, одноплатные компьютеры, которые нивелируют недостатки, характерные для ПК. Перечислим основные преимущества одноплатных компьютеров:

- цена и доступность;
- низкий уровень шума и потребление электроэнергии;
- достаточная производительность для их использования в качестве сервера «умного дома»;

- набор различных интерфейсов для подключения периферии;
- небольшой размер.

Анализируя преимущества одноплатных компьютеров перед персональными целесообразно, в рамках данной работы, в качестве сервера «умного дома» использовать одноплатный компьютер BeagleBone Black. Этот мини-компьютер обладает всеми необходимыми характеристиками, а именно:

- наличие инструментария Linux;
- возможность активного взаимодействия с сетью и интернетом;
- на плате расположено множество разъемов для подключения внешних устройств, сети и питания;
- небольшой размер платы – 87x55 мм.

Выбор контроллера для системы освещения

В качестве многофункционального контроллера освещения был выбран модуль *MegaD-328*. Главной особенностью этого модуля является то, что он может функционировать как в распределенной, так и в децентрализованной схеме управления.

В рассматриваемом модуле подключенными устройствами при децентрализованном подходе (рисунок 3) возможно управление посредством встроенного Web-интерфейса, который позволяет задавать логику работы этих устройств.

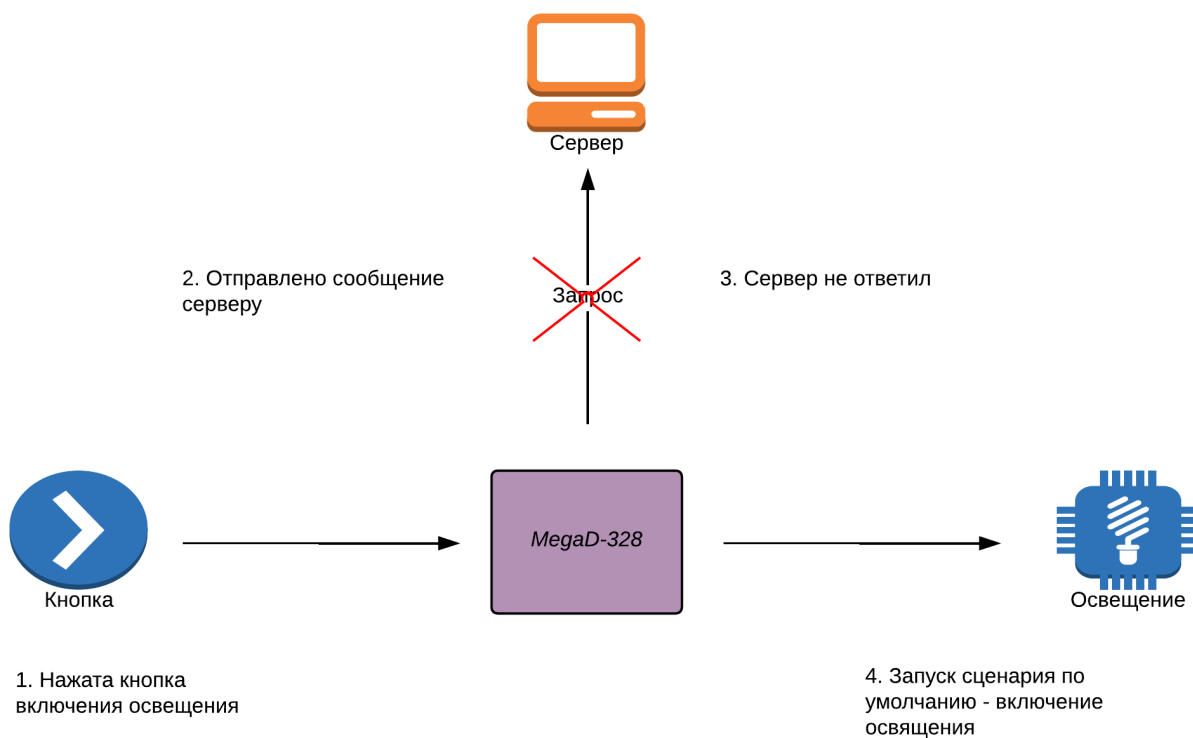


Рис. 3 Децентрализованная схема управления в модуле

В случае, если система домашней автоматизации строится под управлением сервера (рисунок 4), в котором заложены все высокоинтеллектуальные алгоритмы, то модуль выполняет команды, которые были получены от сервера.

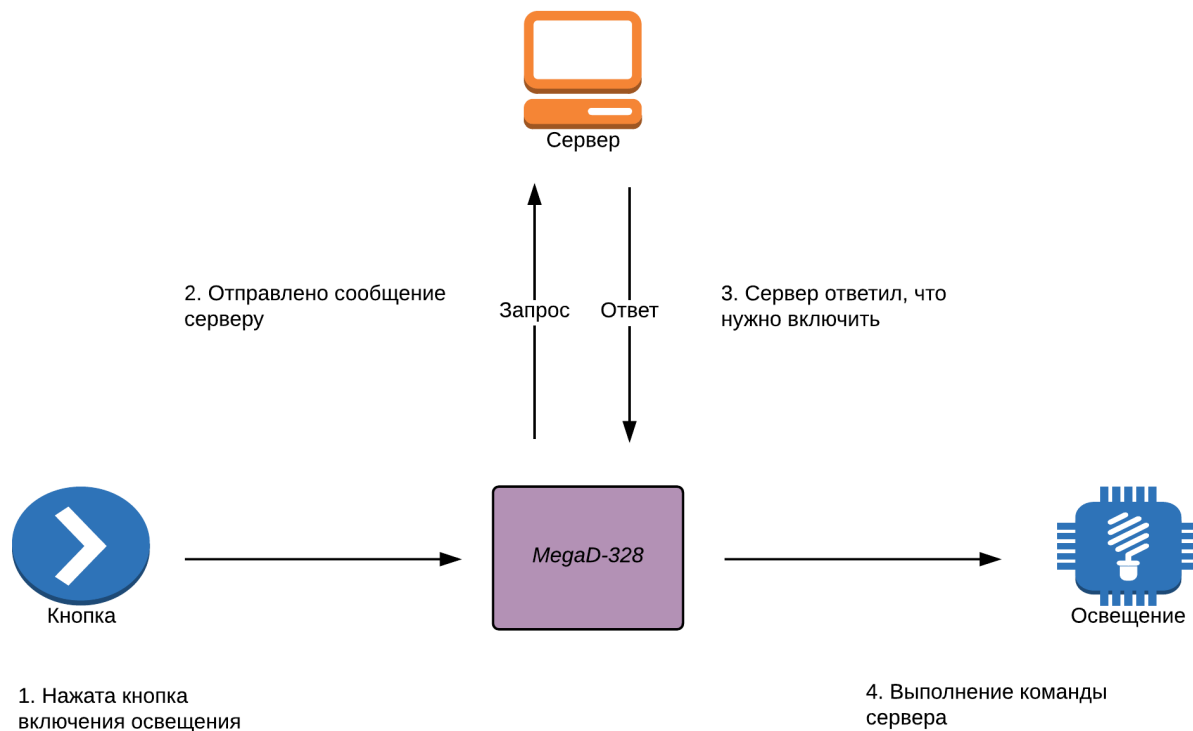


Рис. 4 Централизованная схема управления в модуле

Логику работы этого контроллера можно описать так: при присутствии сервера, контроллер будет выполнять его инструкции, но при возникновении неисправности, повлекшей выход из строя сервера, выполнение всей логики управления устройствами будет происходить по определенным ранее алгоритмам в контроллере. Иными словами, интеллектуальное управление системой домашней автоматизации происходит с использованием сервера, но если произойдет сбой – ключевые узлы будут продолжать функционировать.

В контроллере, отвечающем за освещение, применяется стек технологий TCP/IP в качестве сетевого и транспортного протоколов, а это выявляет значительные возможности. Во-первых, во всех современных устройствах осуществляется поддержка стека TCP/IP, а это означает, что нет необходимости в установке дополнительного программного обеспечения для управления контроллером. Во-вторых, применение стека TCP/IP обеспечивает маршрутизацию, выделение, выставление приоритетов и позволяет выполнять любые действия с сигналами между контроллером и компонентами «умного дома». Вместо непрерывного опроса подключенных элементов, контроллер имеет возможность как сообщать о выполнении команды серверу, так и посылать управляющую инструкцию устройству.

Все данные передаются по протоколу прикладного уровня – http, что обеспечивает большое удобство интегрирования в общую систему «умного дома». Для управления *MegaD-328*, с использованием сервера, нет необходимости в дополнительном специфическом программном обеспечении. Инструкции от *MegaD-328*, аналогично данным, передаются по протоколу http, а это дает возможность обработки сообщений от контроллера, путем установки на сервер Web-сервера.

Выбор компонентов для микросети 1-wire

В виду отсутствия у сервера COM-порта, основным (ведущим) элементов для создания микросети 1-wire, который необходим для связи сервера и датчиков температуры, будет выступать адаптер *DS9490R#*.

В качестве датчиков температуры будут выступать *DS18B20*. Он обменивается данными по 1-Wire шине и, при этом, может быть как един-

ственным устройством на линии так и работать в группе. Все процессы на шине управляются центральным микропроцессором. Диапазон измерений от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ и точностью 0.5°C в диапазоне от -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$. В дополнение, *DS18B20* может питаться напряжением линии данных («parasite power»), при отсутствии внешнего источника напряжения. Каждый *DS18B20* имеет уникальный 64-битный последовательный код, который позволяет, общаться с множеством датчиков *DS18B20* установленных на одной шине. Такой принцип позволяет использовать один микропроцессор, чтобы контролировать множество датчиков *DS18B20*, распределенных по большому участку.

2.2.3. Архитектура микросети 1-wire

Для контроля температуры была реализована микросеть 1-wire, представленная на рисунке 3.

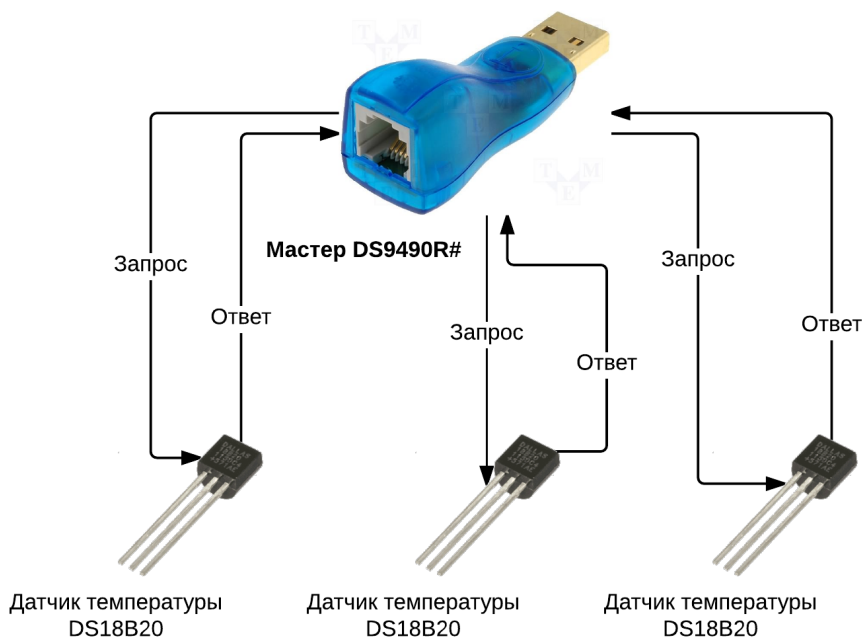


Рис. 5 Реализованная микросеть 1-wire

Топологией сети 1-wire является общая шина. Основной и единственным компонент, который применяется в качестве связки между сервером и сетью 1-wire – это миниатюрное устройство *DS9490R#* с портом USB. В качестве подчиненных (ведомых) компонентов сети используются температурные датчики *DS18B20*. Ведомый элемент может передать данные в

сеть только по запросу от мастера. Самопроизвольно, без запроса, ни один из ведомых элементов ничего «сообщить» сети не может.

Все температурные датчики подключены по схеме с использованием паразитного питания, без эксплуатации линии питания в кабеле.

2.2.4. Архитектура системы освещения

Использование *MegaD-328* в централизованной схеме управления системой домашней автоматизации представлено на рисунке 6.

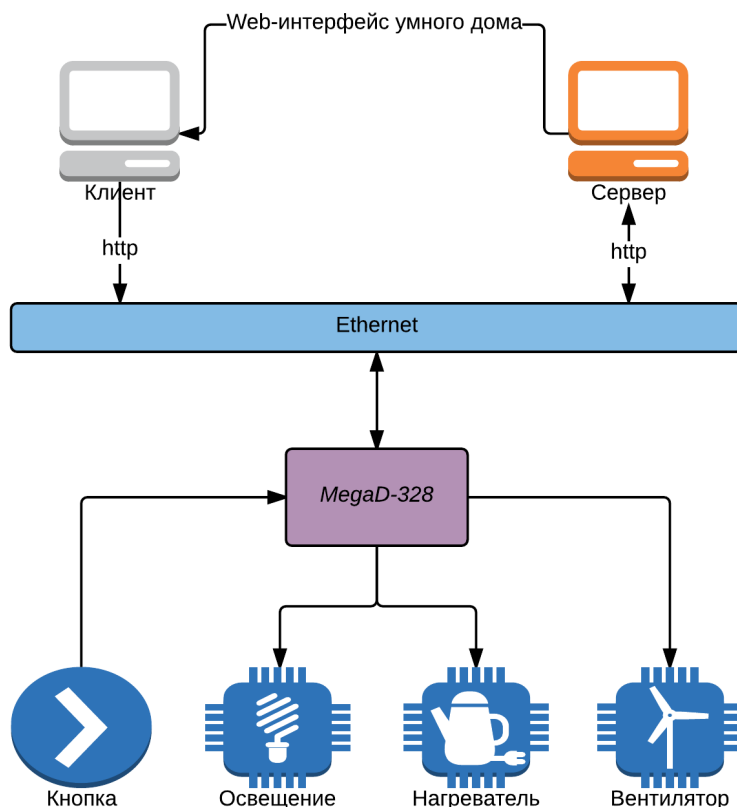


Рис. 6 Схема использования *MegaD-328* с сервером.

Децентрализованная схема представлена на рисунке 7.

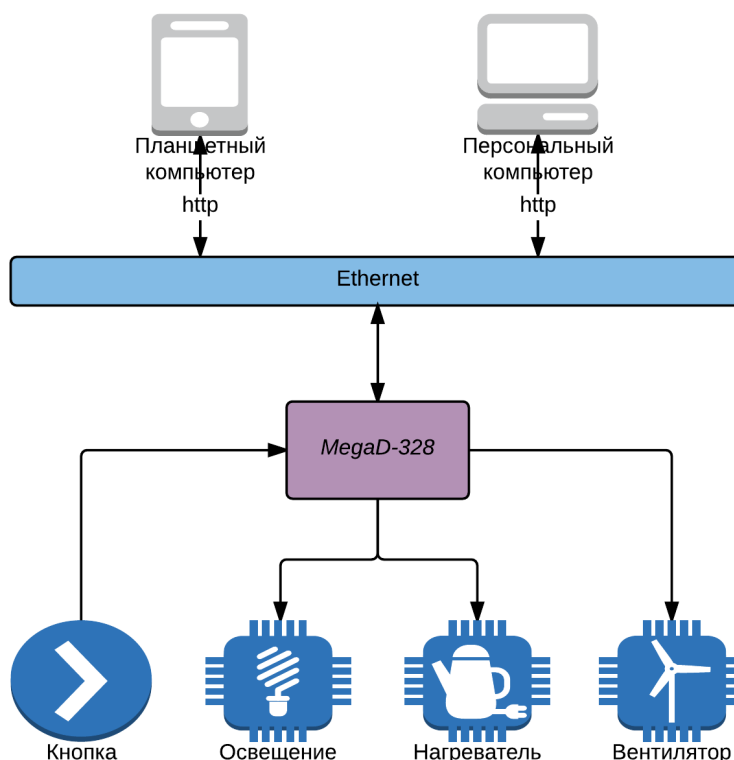


Рис. 7 Схема использования MegaD-328 без сервера.

Каждый функционально-завершенный набор контроллера освещения состоит из двух модулей: интерфейсный (контроллер) и исполнительный.

Подключение ламп накаливания, системы отопления, системы охлаждения осуществляется к исполнительному модулю. Данный модуль включает в себя семь стандартных входов (для подключения приборов) и семь симисторных выходов. Монтмированные в модуль симисторы способны коммутировать нагрузку до 1.4 ампера (это около 300 ватт) переменного тока 220 вольт. Бесшумность – это одна из причин использования симисторов. Недостатком их использования является слабая переносимость коротких замыканий. Дополнительно, рассматриваемый модуль имеет три из семи выходов, которые обладают функцией диммирования (процесс управления уровнем потребляемой мощности). Эта функция нашла свое применение в рамках данной работы для управления (по оптимальному алгоритму) нагревателем и охлаждающим компонентом.

Интерфейсный модуль оснащен разъемами RJ-45, питания и дополнительными аналого-цифровыми портами.

2.2.5. Программная архитектура

Взаимодействие компонентов можно представить следующим образом:

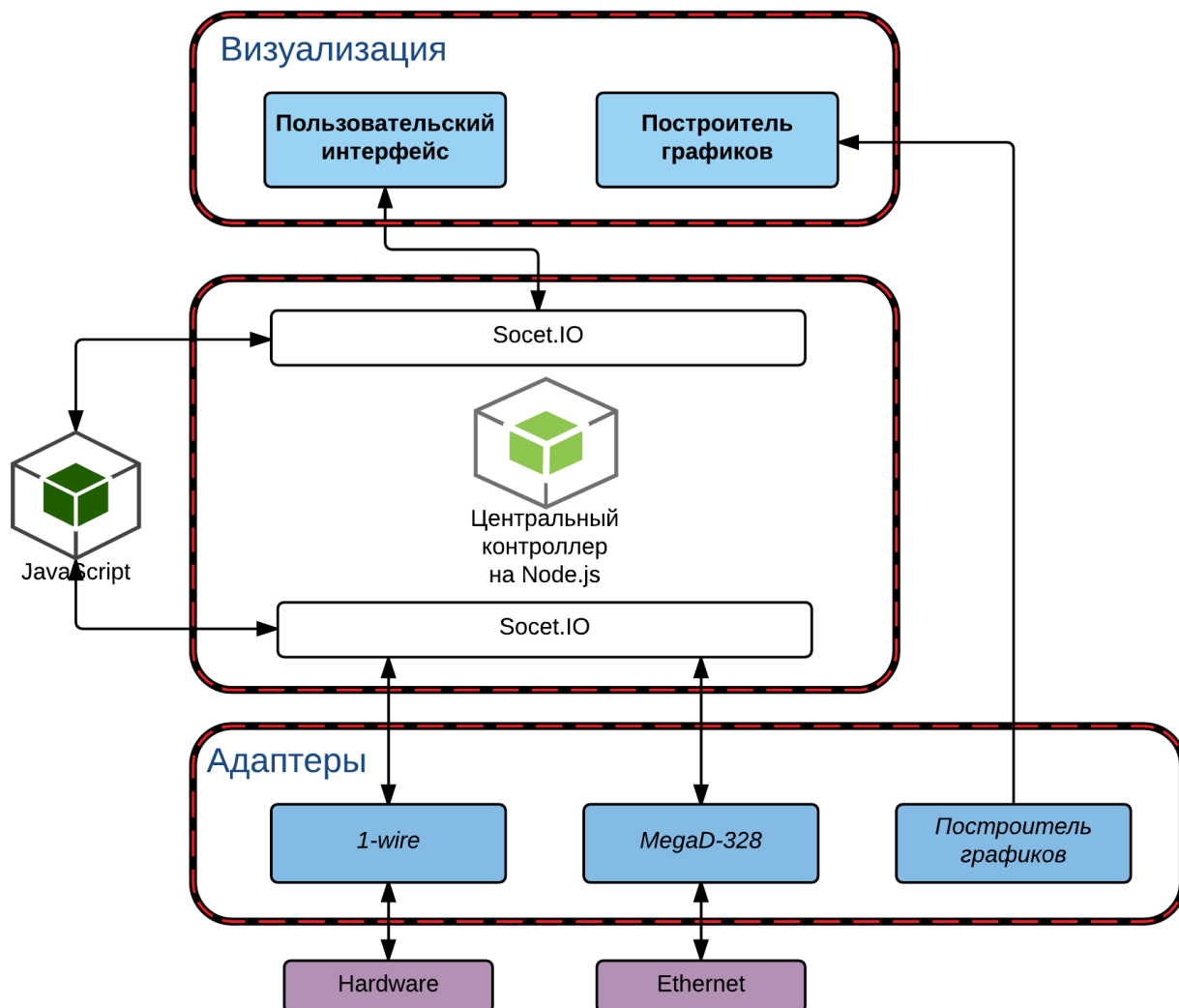


Рис. 8 Программная архитектура системы «умный дом»

Центральный контроллер – это программа, написанная на Node.JS, служащая для автоматизации домашнего оборудования различного вида. Иными словами, центральный контроллер выступает ядром системы и, одновременно, шлюзом для связи по Ethernet.

При помощи встроенного web-сервера центральный контроллер выступает платформой для визуализации и позволяет отображать события с использованием Socket.IO библиотеки. Постоянные запросы к серверу (polling) отсутствуют, сервер сам «говорит», когда нужно обновить графический элемент. Ресурсоемкий процесс постоянных запросов отпадает и,

таким образом, уменьшается время реакции на события. Кроме того, контроллер дополнительно выступает в качестве прокси-сервера между визуализацией и приборами. При этом, не важно, сколько запущено копий визуализации, нагрузка на приборы всегда одинаково низкая.

Подключение нового оборудования происходит через, так называемые, адаптеры или драйверы. Драйвер – это JavaScript файл, запускающийся в отдельном Node.JS процессе и обслуживающий одно устройство или службу. На данный момент реализованы драйвера для интерфейса 1-wire и контроллера *MegaD-328*.

Интегрированный в центральный контроллер механизм скриптов позволяет автоматизировать систему при помощи языка JavaScript. Аналогично драйверам, запускается в своем процессе и служит для выполнения пользовательских скриптов. Все возможности среды Node.JS можно использовать и в скриптах (например доступ к дисковой системе, сетевые функции и т.д.). Также можно использовать огромное количество готовых библиотек через пакетный менеджер (npm).

2.3. Реализация схемы управления «умным домом»

В качестве сервера «умного дома» выступает одноплатный компьютер BeagleBone Black под управлением операционной системы Linux. К USB-порту сервера подключен ведущий (мастер) сети 1-wire DS9490R# и к разъему RJ-45 интерфейсный модуль контроллера освещения *MegaD-328*. К мастеру сети подсоединены датчики температуры DS18B20. Информация с датчиков температуры используется для управления системами охлаждения и отоплением. Нагревательный элемент и охлаждающее устройство подключены к ШИМ-разъему исполнительного модуля контроллера освещения.

Реализованная схема «умного дома» представлена на рисунке 9.

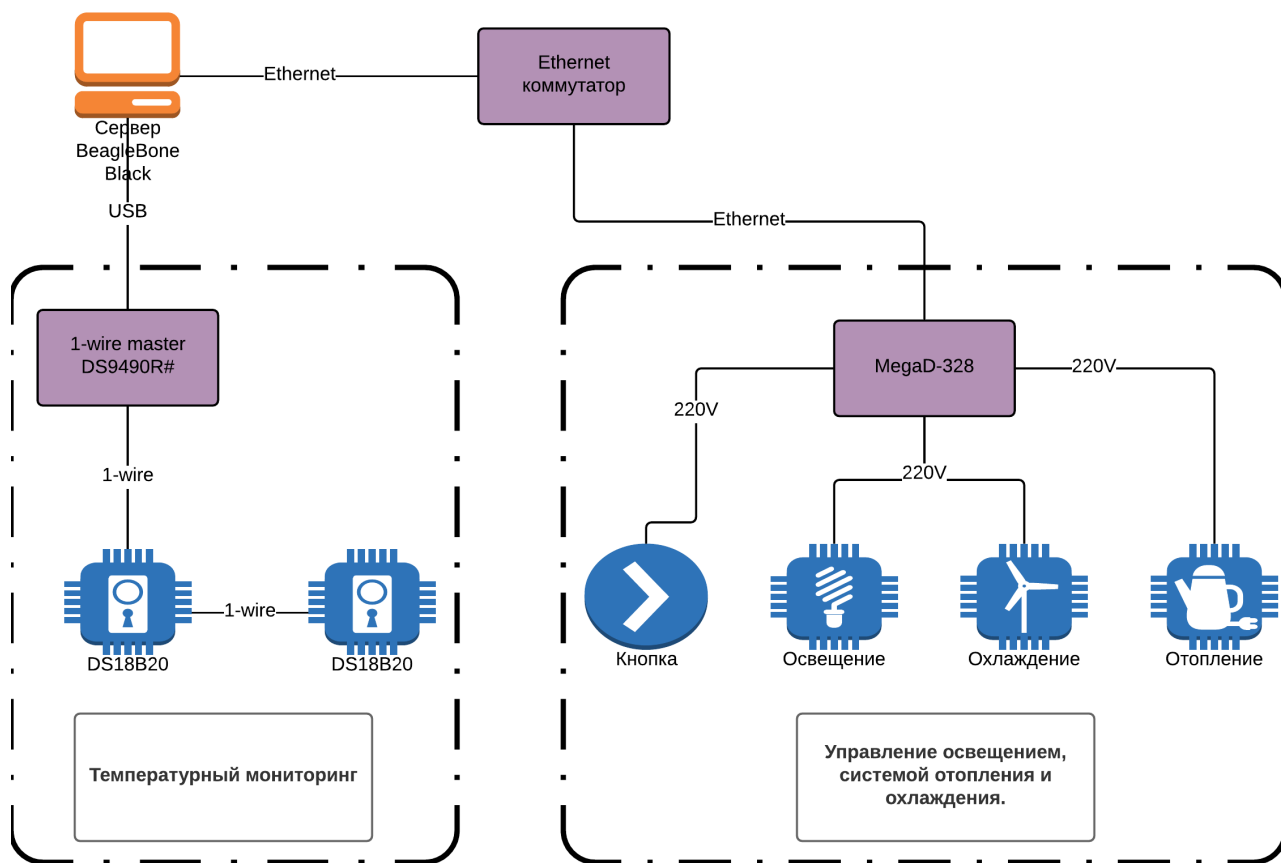


Рис. 9 Реализованная схема «умного дома»

2.4. Описание полученных результатов

В ходе работы над разработкой системы управления «умным домом» были достигнуты следующие результаты:

- сделан выбор в пользу проводных технологий, таких как Ethernet для управления системой освещения и микроклимата, 1-wire для контроля состояния температурного режима;
- проведен анализ подходов для построения системы управления «умным домом», а именно:
 - применение централизованного подхода, как основного, для построения системы управления наиболее оправдано;
 - децентрализованный подход должен быть применен в системе освещения;
- осуществлен выбор аппаратных средств: сервером будет выступать одноплатный компьютер BeagleBone Black, система освещения будет находиться под управлением *MegaD-328*, за состояние температурного режима будет отвечать мастер сети 1-wire DS9490R#, который сопряжен с датчиками DS18B20.
- выбранные аппаратные средства собраны в единую систему: построена микросеть 1-wire и система управления освещения, которые подключены к серверу;
- разработаны драйвера для поддержки микросети 1-wire и контроллера *MegaD-328*.

Глава 3. Разработка алгоритма функционирования системы

В этой главе рассматриваются алгоритмы функционирования системы освещения и микроклимата. Обозреваются законы для поддержания желаемой температуры в помещении и осуществляется выбор наиболее оптимального, с точки зрения энергоэффективности, простоты настройки и безопасности.

3.1. Алгоритм системы управления освещением

На рисунке 10 продемонстрирован алгоритм управления освещением.

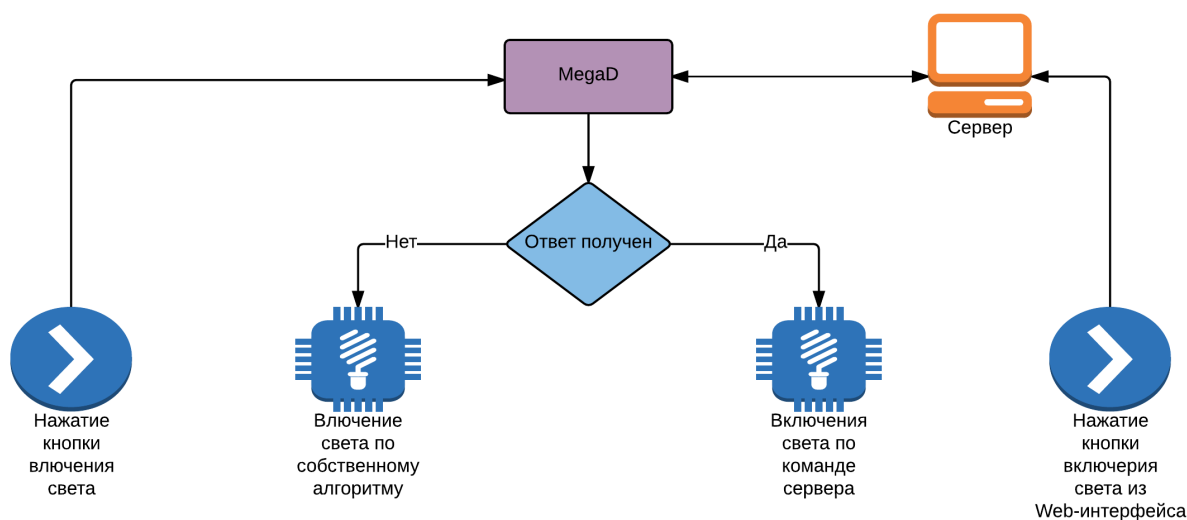


Рис. 10 Алгоритм работы системы управления освещением

При нажатии на кнопку *MegaD-328* сообщает об этом событии серверу и ждет от него ответа. Если сервер послал команду на включение тех или иных потребителей, то *MegaD-328* их выполнит. Кроме этого, через любое устройство (например, планшетный или персональный компьютер) с Web-интерфейсом сервера можно передать команду *MegaD-328* по сети Ethernet, а оно ее будет исполнять. Если сервер ничего не ответил, *MegaD-328* при возникновении события (например, нажатия кнопки) будет самостоятельно их выполнять, в зависимости от настроек по умолчанию, которые заданы пользователем.

3.2. Алгоритм системы управления микроклиматом

На рис. 10 продемонстрирован контур регулирования температурой:

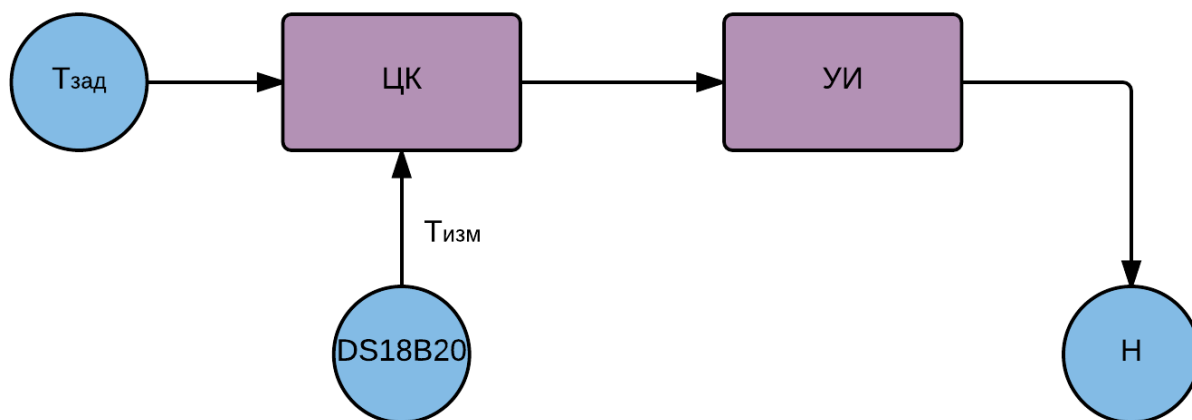


Рис. 11 Контур регулирования температуры

Температура воздуха поддерживается бытовыми приборами (нагреватель или устройство охлаждения) и измеряется датчиком DS18B20. Значение $T_{\text{изм}}$, полученное с датчика, поступает на центральный контроллер – BeagleBone Black (ЦК). В зависимости от разности между заданным ($T_{\text{зад}}$) и измеренными значениями температуры, ЦК вырабатывает сигнал и передает его на устройство исполнения – *MegaD-328* (УИ), которое, в свою очередь, воздействует на прибор (Н).

Прибор начинает работать до такого момента, пока ошибка $\varepsilon = T_{\text{изм}} - T_{\text{зад}}$ не будет стремиться к нулю.

Обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования представлена на рисунке 12.

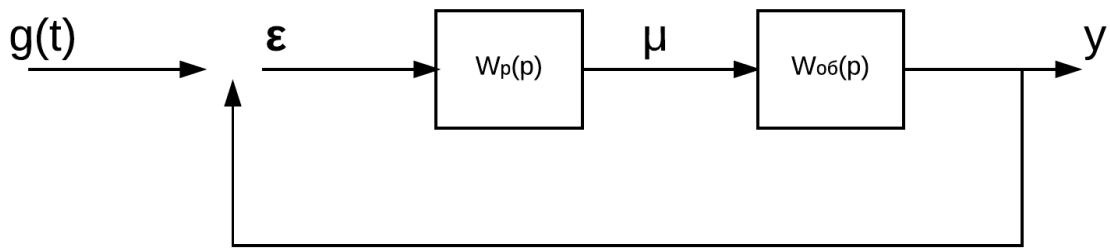


Рис. 12 Система автоматического регулирования

Комплексный коэффициент передачи (ККП) от рассогласования ε к выходу y определяется выражением $W(j\omega) = W_p(j\omega)W_{об}(j\omega)$, где $W_p(j\omega)$ – ККП регулятора; $W_{об}(j\omega)$ – ККП объекта регулирования.

3.3. Выбор закона регулирования

Регуляторы с линейным законом регулирования по математической зависимости между входными и выходными величинами подразделяются на следующие виды:

- пропорциональные (П-регуляторы);
- пропорционально-интегральные (ПИ-регуляторы);
- пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы).

3.2.1. Пропорциональный регулятор

Для настройки пропорциональных регуляторов (П-регуляторов) необходимо задать коэффициент передачи k_p .

Комплексный коэффициент передачи регулятора примет вид $W_p(j\omega) = k_p$, в таком случае система будет иметь следующий вид [4]:

$$W(j\omega) = k_p W_{об}(j\omega).$$

Таким образом, при использовании пропорционального регулятора для управления объектом комплексный параметр передачи системы возрастает на каждой частоте в k_p раз.

Переходные процессы задаются следующим образом:

$$\mu = k_p \varepsilon,$$

где ε – входное воздействие на регулятор, определяемое, как отклонение регулируемого значения от текущего воздействия; μ – управляющее воздействие, которое нацелено на исключение отклонения регулируемого значения от заданного.

Коэффициент $k_p = \Delta U / \Delta \varepsilon$ – параметр регулирования. Если k_p принимает большие значения, то существует вероятность возникновения колебаний в контуре регулирования (рисунок 13)[4].

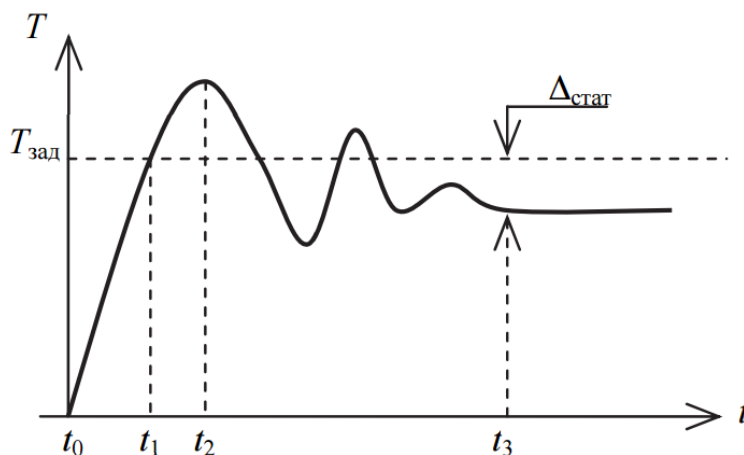


Рис. 13 Колебательный процесс в контуре регулирования в случае пропорционального закона

После запуска системы управления, данные с датчика температуры $T_{изм}$ поступают на сервер. Температура может быть выше или ниже установленной $T_{зад}$. В зависимости от этого, сервер отправляет максимально-возможный сигнал интерфейсному модулю *MegaD-328*, после чего он адресуется его соответствующему порту исполнительного модуля, к которому подключены нагревательное или охлаждающее устройство. Алгоритм работы систем охлаждения и отопления не отличается, разница заключается лишь в устройстве на которое подается сигнал, поэтому все рассматриваемые законы регулирования будут применимы к обоим системам. В связи с вышеизложенным, проведем подробное рассмотрение только одной из систем – системы отопления.

После подачи максимально-возможного сигнала, начинается процесс повышения температуры. Когда она будет равна $T_{зад}$, сервер отправит команду на отключение нагревательного элемента. Учет того, что процесс остывания нагревательного элемента происходит в течение некоторого времени, в ходе которого, температура в помещении до момента t_2 будет воз-

растать, а затем будет понижаться, происходит с помощью рассмотрения затухающих колебаний. Спустя некоторое время t_3 , произойдет процесс стабилизации температуры в помещении. После этого, в следствие свойства инерционности рассматриваемой системы, как правило, имеет место статическая ошибка, определяемая следующим видом: $\Delta_{ст} = T_{зад} - T_{изм}$.

Выходной сигнал управляющего устройства примет следующий вид

$$y(t) = U_0 + k_p \varepsilon,$$

где U_0 – выходной сигнал управляющего устройства, в случае $\varepsilon = 0$.

3.2.2. Пропорционально-интегральный регулятор

Способом исключения статической ошибки, которая возникает в случае пропорционального регулирования, является ввод интегральной составляющей.

Воздействие на орган, осуществляющий регулирование, со стороны пропорционально-интегрального регулятора происходит пропорционально интегралу от отклонения регулируемой величины и отклонению [4]:

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_{и}} \int_0^t \varepsilon dt,$$

где $T_{и}$ – коэффициент, отражающий настройку регулятора.

Передаточная функция интегральной и пропорциональной составляющей:

$$W_{пи}(p) = k_p + \frac{1}{T_{и}} p.$$

Закон, описывающий регулирование [4]:

$$\mu = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_{из}} \int_0^t \varepsilon dt \right).$$

где $T_{из}$ – постоянная времени регулирования с обратной связью.

В пропорционально-интегральном регуляторе, в случае если $T_{зад} < T_{изм}$, то происходит моментальное включение пропорциональной (статиче-

ской) компоненты регулятора, а затем последовательно возрастает интегральная (астатическая) компонента.

При настройке ПИ-регулятора необходимо задать взаимнонезависимые параметры: коэффициент усиления k_p и постоянную времени интегрирования T_i .

Переходный процесс при ПИ-регулировании представлен на рисунке 14 [4].

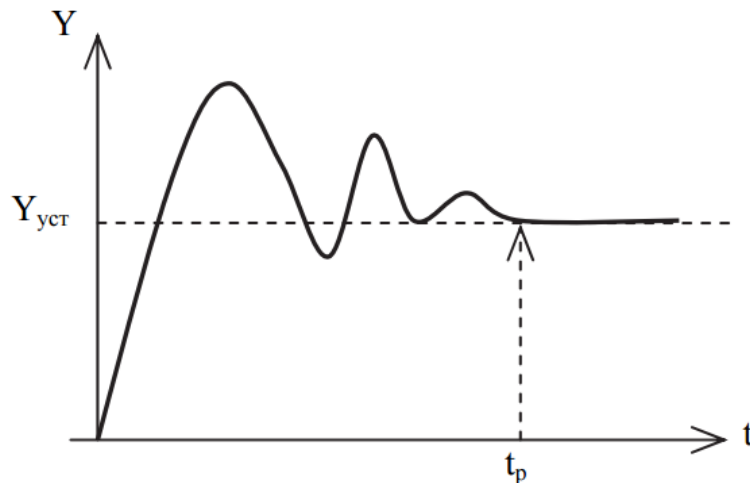


Рис. 14 Переходный процесс при ПИ-регулировании

3.2.3. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор

Иногда необходимо оказать вспомогательное регулирующее воздействие, с этой целью вводится дифференциальная составляющая, которая является пропорциональной к скорости отклонения регулируемого значения величины от заданного:

$$\mu_d = T_d d\varepsilon/dt.$$

Регуляторы данного вида воздействуют на управляемый объект пропорционально отклонению регулируемого значения, интегралу от имеющегося отклонения и темпу изменения этого значения [4]:

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}$$

В случае, неравномерного отклонения регулируемого значения пропорционально - интегрально - дифференциальный регулятор в исходный период времени производит максимально-возможное влияние на объект регулирования, после этого величина воздействия уменьшается до величины, задаваемой пропорциональной частью, затем приступает к воздействию интегральная часть регулятора.

Промежуточный этап в ПИД-регуляторах (рисунок 15) обладает минимальным отклонением по амплитуде и времени, относительно П- и ПИ-регуляторов [4].

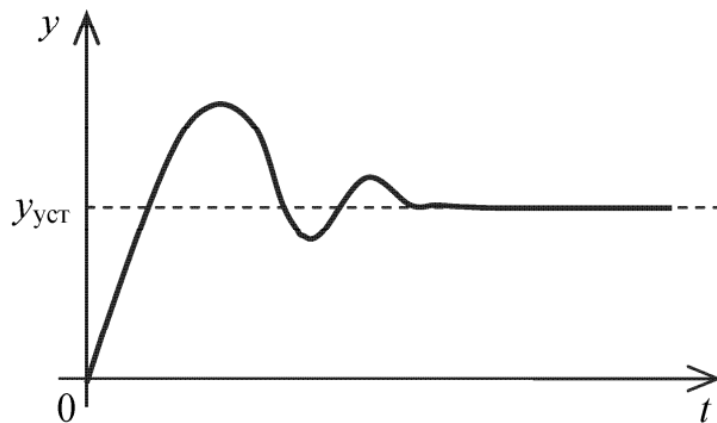


Рис. 15 Процесс прехода в случае ПИД-регулирования

Настраиваемыми параметрами в ПИД-регуляторе является коэффициент пропорциональности регулятора k_p , постоянная, отражающая время интегрирования T_i , и постоянная, характеризующую время дифференцирования T_d .

В процессе возрастания величины запаздывания в системе, происходит довольно резкое увеличение отрицательных фазовых сдвигов, данная процедура приводит к уменьшению воздействия дифференциальной части регулятора.

Из-за присутствия шумов в канале измерения в системе с ПИД - регулятором приводит к существенным случайным колебаниям управляющего сигнала регулятора, это приводит к возрастанию средне-квадратической ошибки регулирования и изнашиванию исполнительного устройства.

Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы обеспечивают для систем управления температурным режимом относительно высокие показатели регулирования, а именно: несогласованность регулирования составляет меньше чем один процент от заданного значения, доволь-

но небольшое время стабилизации и малую чувствительность относительно возмущений извне.

Кроме того, необходимо учитывать, что в случае неточного определения параметров, предназначенных для настройки, рассматриваемый регулятор оказывает негативное влияние в виде ухудшения работы системы и перехода в автоколебания по сравнению с иными законами регулирования.

3.4. Вывод

Для управления системой микроклимата был выбран ПИ-регулятор, по следующим причинам:

- простота настройки (два параметра k_p , $T_{\text{и}}$) и возможность оптимизации величины $k_p/T_{\text{и}} \rightarrow \min$, что обеспечивает управление с минимально возможной среднеквадратической ошибкой регулирования;
- малая чувствительность к шумам в канале измерения.
- в гидравлических системах и в системах, имеющих собственные частоты колебаний близкие к характерным временам запуска процессов регулирования, ПИД-регулирование малоприменяемо, так как легко вызывает гидроудары или резонансы.

Глава 4. Описание реализованной системы

В этой главе продемонстрированы web-интерфейс и аппаратная реализация системы управления элементами «умного дома». Приводится их подробное описание.

4.1. Web-интерфейс «умного дома»

На рисунке 16 продемонстрирован графический интерфейс системы управления «умным домом».

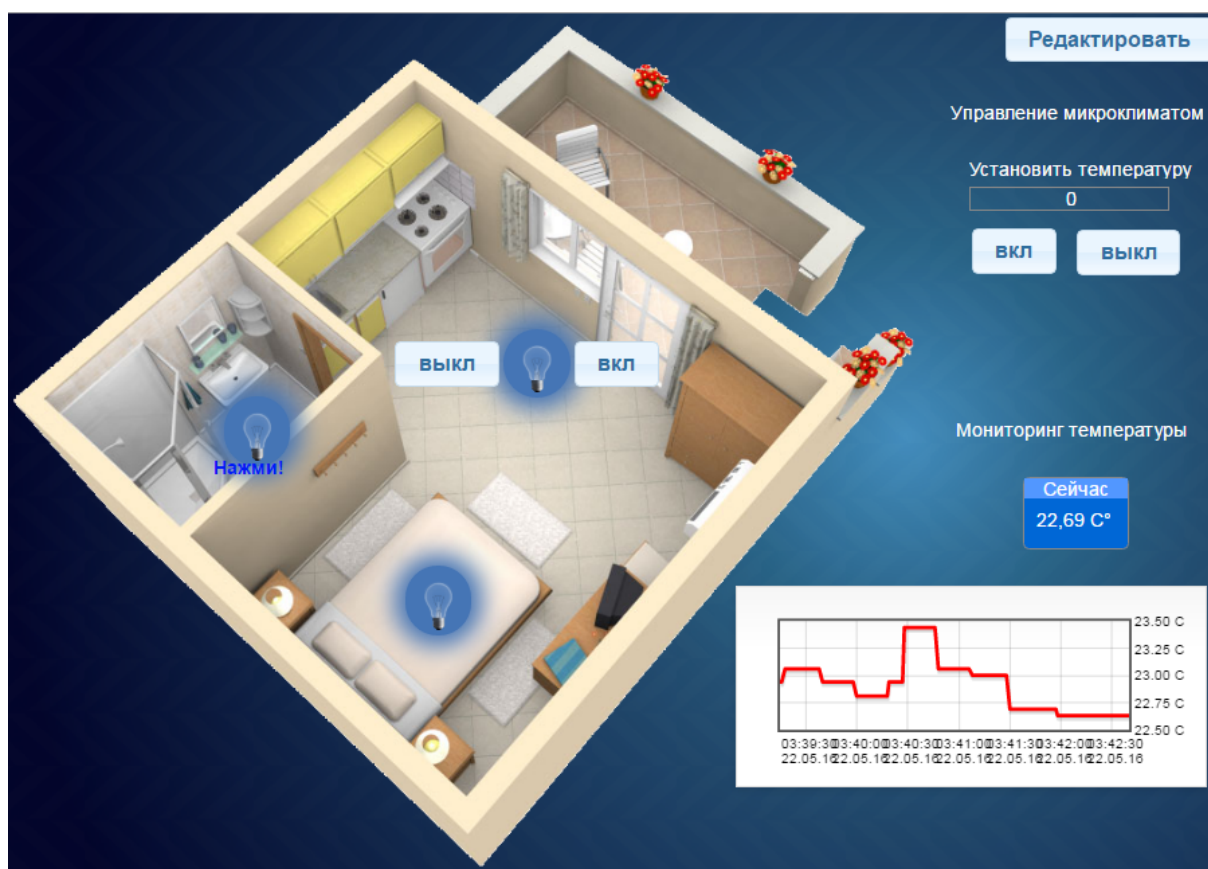


Рис. 16 Графический интерфейс

Для управления системой освещения, а именно включение света, необходимо нажать на кнопку «ВКЛ» или иконку, после этого события произойдет включение соответствующего потребителя. Для выключения света нужно нажать на кнопку «ВЫКЛ» или повторно на иконку.

Для управления системой микроклимата необходимо в поле «Установить температуру» задать желаемую температуру и нажать на кнопку «ВКЛ», в зависимости температурного режима в помещении происходит

включение либо системы отопления, либо охлаждения по пи-закону регулирования.

Также на рисунке 16 продемонстрирован график изменения температурного режима в помещении.

4.2. Аппаратная реализация

На рисунке 17 представлена аппаратная реализация системы управления «умным домом».

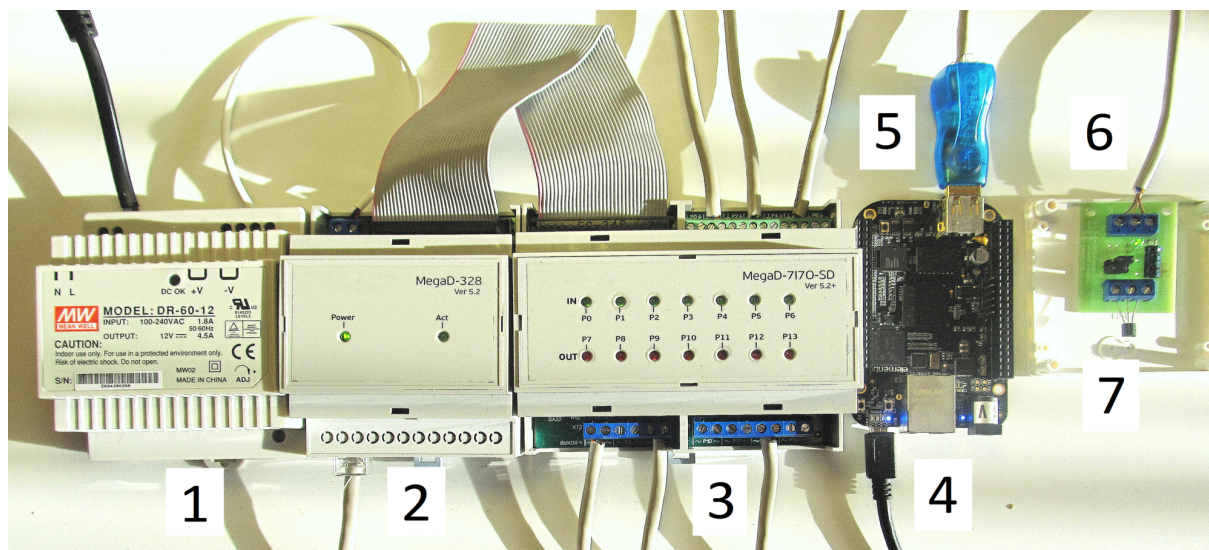


Рис. 17 Аппаратная реализация

Под номером 1 обозначен блок питания для контроллера *MegaD-328*. Как было сказано ранее, контроллер состоит из двух модулей: интерфейсного (под номером 2) и исполнительного (номер 3). К исполнительному модулю подключены кнопочный выключатель, нагревательный элемент, устройство охлаждения, лампа накаливания. Интерфейсный подключен к сети Ethertnet. Номером 4 обозначен BeagleBone Black – сервер системы домашней автоматизации. Мастер DS9490R# сети 1-wire располагается под номером 5. Он сопряжен с датчиком температуры DS18B20 под номером 7. Под номером 6 находится специальный адаптер для подключения датчиков.

Заключение

В ходе работы по созданию системы управления элементами «умного дома» был проведен анализ существующих систем и технологий, которые должны удовлетворять сформулированным требованиям к системе. Основываясь на результатах анализа, было принято решение о выборе подхода для построения такой системы. В ходе выполнения данной работы, разработана архитектура элементов системы управления «умным домом», с этой целью были выбраны аппаратные средства, построены микросети 1-wire для отслеживания состояния температуры и Ethernet для управления системой освещения и микроклиматом. Компоненты данных сетей были подключены к серверу, для поддержки используемых устройств разработаны драйвера. В целях экономии энергетических ресурсов был использован пропорционально-интегральный закон управления системой охлаждения и отопления. Управление всеми компонентами «умного дома» происходит из разработанного web-интерфейса.

Список литературы

1. Алексеев Г.П. Электромонтаж и наладка системы «Умный дом». Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭМНСУД.001 РБЭ (997)- Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2012. – 223с.
2. Гершкович В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий: пособие по проектированию // С.О.К., 2008. № 8.
3. Нимич Г.В. Общие положения автоматического управления системами кондиционирования и вентиляции / Г.В. Нимич // С.О.К. – 2005. – № 7.
4. Спицын В.С., Спицын В.В. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника» выпуск 17 // Алгоритмы управления температурой в помещениях, Вестник ЮУрГУ, 2012г. № 35. С. 79-84.
5. Современный учебник JavaScript <https://learn.javascript.ru/>.
6. Harper R. Inside the Smart Home, ISBN-13: 978-1852336882, 2003. – 263с.
7. AgoControl <https://www.agocontrol.com/>
8. Fibaro <http://www.fibaro.com/>
9. FreeDomotic <http://www.freedomotic.com/>
10. Home Sapiens <http://home-sapiens.ru/>
11. Maxim Integrated <https://www.maximintegrated.com/en.html>
12. MajorDoMo <http://majordomo.smartliving.ru/>
13. Node-RED <http://nodered.org/>
14. Netping <http://www.netping.ru/>
15. OpenRemote <http://www.openremote.org/display/HOME/Home>
16. SmartVisu <http://www.smartvisu.de/>