

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Автоматика и управление»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ С.А. Сидоренкова
_____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Л.С. Казаринов
_____ 2019 г.

Интеллектуальная система управления освещением по питающей сети

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ 15.04.04.2019.229 ПЗ

Руководитель проекта
доцент, к.т.н.

_____ Е.В. Вставская
_____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы КЭ–227

_____ Д.С. Сундетбаева
_____ 2019 г.

Нормоконтролер
доцент, к.т.н.

_____ Т.А. Барбасова
_____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Сундетбаева Д.С. Интеллектуальное управление уличным освещением по питающей сети. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН; 2019, 84 с. 42 ил., библиогр. список – 83 наим., 7 прил.

В выпускной квалификационной работе магистра на основе анализа существующих систем была предложена интеллектуальная система управления уличным освещением по питающей сети. Разработан собственный протокол обмена данными. Рассчитана линия связи объекта, даны рекомендации по установке оборудования. Был применен алгоритм Герцеля для вычисления частот передаваемых битов предлагаемого протокола.

					15.04.04.2019.229.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Сундетбаева			<i>Интеллектуальная система управления уличным освещением по питающей сети</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Вставская					3	84
<i>Н. Контр.</i>		Барбасова				<i>Кафедра АиУ</i>		
<i>Утв.</i>		Казаринов						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОБЗОР СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ ПО ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ	9
1.1 PLC–технология.....	9
1.1.1 Управление освещением по линиям электропередачи	10
1.2 Автоматизированная система управления наружным освещением LT CITYLIGHT	16
1.3 Автоматизированная система управления наружным освещением STADIS.....	19
1.4 Автоматизированная система управления наружным освещением Энергокруг.....	25
1.5 Автоматизированная система управления наружным освещением GALAD.....	27
1.6 Автоматизированная система управления и контроля освещением Кулон.....	28
1.7 Автоматизированная система управления и контроля освещением Модуль С.....	32
1.8 Автоматизированная система управления освещением Меркурий	36
2 СТРУКТУРА ПРОТОКОЛА ОБМЕНА	40
2.1 Описание режимов работы	43
2.2 Описание команд управления по RS–485.....	46
2.3 Список команд протокола обмена.....	47
3 РАСЧЕТ ЛИНИИ СВЯЗИ.....	55
4 АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИНЯТОГО СИГНАЛА	61
4.1 Обоснование выбора алгоритма Герцеля.....	61
4.2 Рекуррентное соотношение для расчета фиксированного спектрального отсчета сигнала.....	61
4.3 Алгоритм Герцеля.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	68

									Лист
									4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	69
ПРИЛОЖЕНИЯ	76

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Уличное освещение – важный аспект повседневной жизни, который имеет большую значимость для каждого человека. В первую очередь это – собственная безопасность. Отсутствие света не только провоцирует на противозаконные действия, но и может стать причиной несчастного случая. Растущие цены на энергию и экологические факторы вынуждают города искать инновационные решения для использования более энергоэффективного уличного освещения. Также все большее внимание привлекают проблемы экологии и на законодательном уровне разрабатываются новые постановления чтобы уменьшить вредное влияние на природу.

Также необходимо отметить, что одним из приоритетных направлений развития экономики Российской Федерации в настоящее время является повышение энергетической эффективности во всех отраслях народного хозяйства. Как правило, промышленные предприятия, заинтересованные в экономии, проводят энергосберегающие мероприятия самостоятельно. Иначе происходит в сфере ЖКХ.

Одной из самых крупных статей энергопотребления в отрасли ЖКХ являются затраты электрической энергии на нужды освещения. По данным министерства энергетики, на освещение в России ежегодно тратится более 100 млрд кВт·ч (более 12 % от общего потребления электроэнергии). Доля уличного освещения – 7 млрд кВт·ч [1]. Таким образом, даже незначительное снижение энергопотребления в данной области может принести значительный экономический эффект.

Электрические линии – самые многочисленные и имеются практически везде, где живет и работает человек [2]. Именно поэтому в данной работе рассматривается управление уличным освещением именно по питающей сети. PLC является проверенной, устоявшейся и признанной технологией, которая позволяет передавать данные с узкополосной или широкополосной скоростью через электрические кабели, уже установленные в зданиях или на улице. Управление по питающей сети работает с помощью наложения моделированной несущей частоты

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

на сигнал электросети. Самая простая PLC система состоит из передающего устройства, способного передать коммуникационный сигнал по линии электросети переменного тока (модуляция) и приемника, способного извлечь этот сигнал и создать коммуникационный уровень из него (демодуляция) [3]

Преимущества PLC:

- не нужно использовать лишние провода;
- мобильность;
- гибкость;
- легкость в установке и применении;
- стабильность;
- высокая скорость передачи данных.

Недостатки:

- сложность установки и качество передачи данных зависит от архитектуры электрической сети;
- мало стандартов и руководств;
- проблемы взаимодействия с различным оборудованием;
- высокая цена, рынок нуждается в развитии.

Целью данной выпускной квалификационной работы является создание интеллектуальной системы управления уличным освещением. Проанализировав все достоинства и недостатки разных методов обеспечения связи, было решено использовать управление освещением по питающей сети.

В первой главе приведены обоснования выбора PLC–технологии среди других. Приведен обзор существующих решений в данной отрасли, показаны ключевые аспекты проектирования систем.

Вторая глава посвящена подробному описанию структуры протокола обмена. Расписаны основные характеристики системы, показаны примеры команд с подробным объяснением.

В третьей главе рассчитана линия связи, даны рекомендации по подбору кабеля, обоснованы решения по установке структурных единиц системы.

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.04.04.2019.229 ПЗ

Четвертая глава рассказывает о применении алгоритма Герцеля для эффективного вычисления значения одного частотного компонента, а именно передачи битов предложенного протокола обмена.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Обзор систем освещения по питающей сети

1.1 PLC–технология

Неизменный интерес к средствам передачи информации по промышленным и бытовым электросетям обусловлен, прежде всего, возрастающей потребностью в сравнительно недорогих средствах связи массового применения. Идея передачи данных по электрической сети появилась в 1930–х гг. Первые системы передачи данных по линиям электросети, т.н. PLC–системы (Power Line Communication), появились более 70 лет назад. В основном они использовались для сигнализации в энергосистемах и на железных дорогах и имели очень низкую скорость передачи данных. В конце XX столетия ряд компаний реализовал первые большие проекты в этой области. Однако в процессе эксплуатации были выявлены серьезные проблемы. Работа электротранспорта, многочисленных электродвигателей и бытовых приборов вызывала в незащищенных от высокочастотных излучений проводах помехи, которые приводили к резкому снижению достоверности передачи данных. К тому же, провода электросети начали действовать как антенны радиоретрансляторов, излучая, по сути, весь трафик в эфир. Стремительное развитие альтернативных способов организации широкополосной передачи данных, к примеру, технологии DSL (Digital Subscriber Line) и, соответственно, массовый выход на рынок кабельных модемов, поставили под сомнение коммерческую привлекательность PLC–систем. Неоднородность среды передачи данных, отсутствие соответствующей элементной базы и единого стандарта привели к тому, что в тот период PLC–технология не получила должного коммерческого применения. Только в начале текущего столетия технология передачи данных по электросети стала получать широкое развитие и распространение [4–11].

Особенно большой интерес к возможности передачи информации по электросети появился с развитием интернета. Корпоративные пользователи зачастую могут позволить себе подключение с использованием дорогостоящих

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

технологий, однако для подавляющего большинства домашних пользователей, которых значительно больше, это едва ли приемлемо.

Качественный сдвиг в развитии PLC–технологии произошел на рубеже XX–XXI вв. благодаря идее организации «последней мили» с помощью широкополосного доступа по электросети [12].

Управление по питающей сети сравнительно новая телекоммуникационная технология, по сути, семейство технологий связи, основанных на использовании в качестве физической среды для высокоскоростного обмена информацией силовые электросети. PLC — собирательный термин, включающий все возможные варианты передачи данных по электрической сети.

Развитие технология получила и благодаря соответствующим структурным элементам, например, сигнальным процессорам, которые помогли реализовать различные способы модуляции сигнала. Это и позволило увеличить достоверность передачи информации, которая до этого события была значительно меньше.

Помимо управления по питающей сети, развитие получили такие технологии, как xDSL, коаксиальные и оптоволоконные кабели, беспроводные системы (Wi-Fi), спутниковая связь и т. д. В конечном счете, определяющую роль играет экономический фактор, т. к. средства связь должны быть недорогими и доступными. [13–15]

1.1.1 Управление освещением по линиям электропередачи

Идеальное решение для осветительных систем состоит в обеспечении требуемого количества света в нужное время и в нужном месте. На практике, однако, современные средства управления осветительными системами часто, что называется, не доведены до ума: одна лампа управляется диммером или коммутатором, либо вся система управляется одним коммутатором. Удивительно, как такое может происходить, если учесть, что недостатка в стандартных протоколах управления не наблюдается, — достаточно перечислить DALI, DMX512A и аналоговую схему на 1–10 В. Эти системы управления обеспечивают

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

большую функциональность, чем механический переключатель, однако они не нашли широкого применения, как поначалу ожидалось. Причина ограниченной популярности этих протоколов — в их сложной реализации. К настоящему времени реализация всех этих протоколов нуждается не только в дорогостоящей прокладке сетей управления, но и силовых сетей, которые, к тому же, требуют правильной конфигурации, обслуживания и ремонта.

Для более широкого внедрения светотехнических средств управления требуется не дополнительный функционал, а возможность управления освещением без ресурсоемкой прокладки кабелей. В качестве физической среды для передачи сигналов в соответствии с перечисленными протоколами можно использовать радиоканалы или силовые кабели [16].

Выбор протокола связи зависит от региональных факторов, т.е. от местного законодательства и наличия радиочастотного спектра. Уже сейчас в странах Северной Европы преимущественно используется РЧ–связь, а в Южной Европе – связь по ЛЭП.

В обоих случаях для реализации такой связи требуются стандарты и совместимость. Технологии, основанные на стандартах, обеспечивают потребителям два преимущества: во–первых, между несколькими поставщиками компонентов и систем появляется конкуренция, благодаря которой снижается стоимость конечного оборудования. Во–вторых, поставщики оборудования и потребители получают гарантию того, что их инвестиции в стандартизованные технологии оправданы, и они получат дальнейшее развитие [17–20].

Радиочастотная связь уже, по большей мере, стандартизована, начиная с технологий для сотовых телефонов и заканчивая беспроводными промышленными технологиями (например, ZigBee) и протоколами для потребительского сегмента (Bluetooth, RF4CE). С PLC–технологией дело обстоит немного иначе. Производители светотехники уже поставляют оборудование, которое поддерживает такие протоколы управления освещением как DMX512A и DALI. Сложность реализации PLC–протокола заключается в обеспечении требуемой

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

скорости передачи данных, временных соотношений и других требований, предъявляемых к управлению освещением.

На сегодняшний день разработка PLC–протокола обусловлена желанием поставщиков электроэнергии установить интеллектуальные счетчики, а не намерениями светотехнических компаний обеспечить управление освещением. При этом реализация системы учета расхода ресурсов намного проще, т.к. она требует лишь считывания данных каждого узла сети через последовательный цифровой интерфейс и их отправки в центр управления. Поскольку ни один из PLC–стандартов фактически не стал доминирующим на рынке, до сих пор не обеспечена полная совместимость PLC–оборудования. Например, у PLC–протокола Prime, который поддерживается несколькими производителями кристаллов, хорошие перспективы стать стандартом. Однако этот протокол до сих пор не вполне пригоден для систем управления освещением, т.к. работает в диапазоне CENELEC Band A, предназначенном для нужд энергокомпаний.

В отличие от PLC–приложений для учета расхода ресурсов, системе управления освещением требуется двусторонняя связь для передачи команд и постоянно меняющейся информации. По крайней мере, эта система должна позволять переключать реле; генерировать аналоговый сигнал для драйвера на 1–10 В; генерировать и считывать цифровые последовательные данные для связи с системами DALI; считывать входные аналоговые сигналы для контроля линейного напряжения, света, температуры и тока; считывать последовательные данные других типов [21].

Пример такого рода оборудования, с которым могла бы сопрягаться PLC–система, представлен на рисунке 1. Постоянный выходной ток этого модуля светодиодного драйвера от Philips, питающегося от электросети, составляет 350 мА. Кроме того, этот модуль обеспечивает управление температурой источника света, термозащиту, функции автоматического управления яркостью и управления яркостью с помощью протокола 1–10 В. Некоторые драйверы поддерживают альтернативный протокол DALI или также интерфейс 1–10 В. Протокол DALI

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

предоставляет сетевой адрес каждому узлу, необходимый для эффективного управления освещением [22].

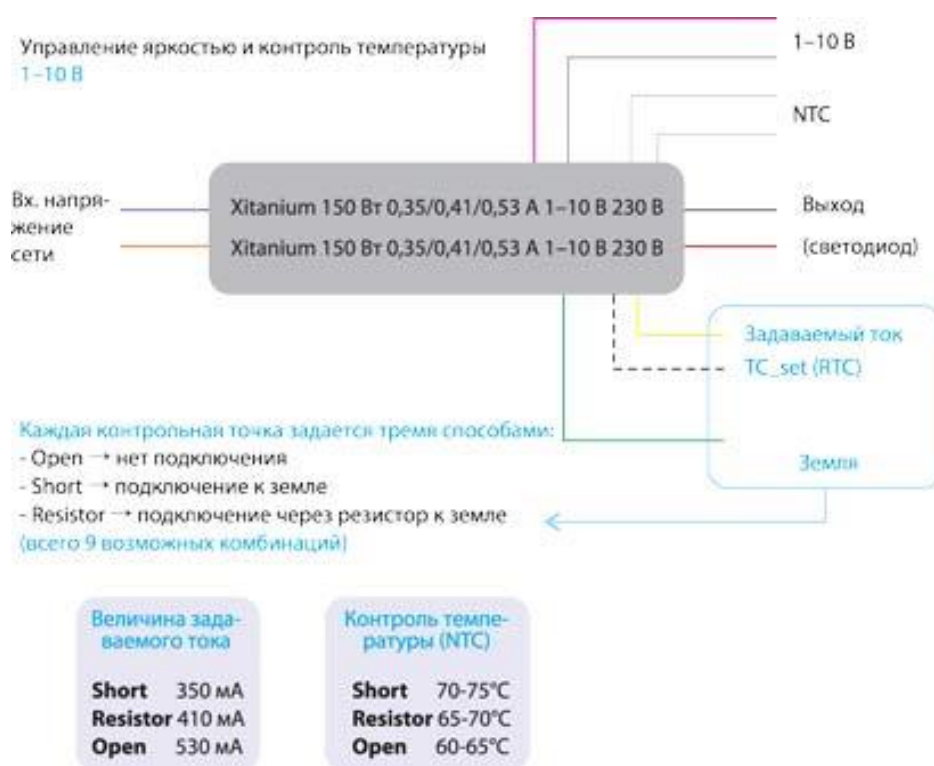


Рисунок 1 – Сигналы управления в модуле светодиодного драйвера Philips Xitanium

Однако если PLC-протокол обеспечивает адресацию на уровне сетевого программного обеспечения, который выше уровня физического интерфейса, приложение по управлению освещением может использовать интерфейс 1-10 В (который намного проще DALI) для подключения PLC-модуля к драйверу. Но, похоже, до сих пор нет сети и прикладного программного обеспечения для реализации такой системы.

Сетевое программное обеспечение не только должно считывать данные с узла, что происходит в типовом приложении по учету расхода ресурсов, но и обеспечить двустороннюю связь. Последнее требование особенно трудно выполнить с использованием энергосети, которая характеризуется асимметричностью, нестационарностью и зашумленностью от электромагнитных помех. Задача

сетевого программного обеспечения заключается в управлении всей связью и в обеспечении прозрачного PLC–канала для разработчика с помощью простого API–интерфейса [23].

Кроме того, это ПО должно поддерживать разные сетевые топологии типа «дерево» или «ячейка», которые позволяют каналу связи уцелеть, невзирая на шум, непреднамеренные повреждения и обрыв [24]. Одним из удачных примеров такой реализации программного обеспечения сети является стек протокола Y–Net от Yitran, который используется во многих приложениях по управлению (рисунок 2). Стек Y–Net реализуется с помощью микросхемы подключаемого модуля IT700 от Yitran, которая выполняет DCSK–модуляцию, обеспечивая надежную связь на скоростях до 7,5 Кбит/с.



Рисунок 2 – Стек PLC–протокола Y–Net основан на эталонной 7–уровневой модели OSI

На техническом уровне представляется вполне возможным создать систему, которая управляет светотехническим оборудованием по линиям электропередачи. Такие производители микросхем как Yitran, ADD Semiconductor и Cypress уже предлагают модули как стандартные элементы для реализации стека протокола, поддерживающего приложения по управлению освещением. У производителей светильников, модулей драйверов и другого светотехнического оборудования возникают вопросы чисто коммерческого порядка: стоит ли идти на риск, создавая

изделия с поддержкой того PLC–протокола, который в дальнейшем не найдет широкого применения? Будет ли этот протокол удовлетворять всем требованиям городских администраций, компаний, осуществляющих техническое обслуживание, энергетических предприятий и конечных потребителей [24–26]?

Простого ответа на этот вопрос нет, т.к. всегда при появлении стандарта от первопроходцев требуются решительные действия по обновлению уже существующих технологий и дальнейшие шаги, тогда как более осторожные участники рынка ждут готовых решений. В этой ситуации всегда сохраняется риск того, что выбранный протокол для уже произведенного оборудования не получит широкой отраслевой поддержки. В то же время у производителей имеется возможность создать такие изделия, которые на ранних этапах становления рынка найдут спрос, т.к. потребность в интеллектуальных системах управления уличным и внутренним освещением на предприятиях назрела уже давно.

Протоколы Y–Net и ECSS составлены технически безупречно, и у них имеются все шансы стать стандартами в светотехнической индустрии. Вполне возможно, что вопрос о том, какой из них станет самым предпочтительным, решит несколько крупнейших производителей светотехнического оборудования. С другой стороны, неуспех этих протоколов в деле стандартизации может стать причиной оживления существующих проводных стандартов, например, Dali и DMX, которые, однако, удовлетворяют требованиям к совместимости оборудования при большей стоимости [27–29].

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

1.2 Интеллектуальная автоматизированная система управления наружным освещением LT CITYLIGHT

Основная задача автоматизированной системы управления наружным освещением (АСУНО) LT Citylight является исключение человеческого фактора из инфраструктуры уличного освещения. АСУНО обеспечивает автоматическое и ручное управление осветительными приборами, передачу и прием параметров работы светоточек, запись и отображение параметров питающей сети, отображение аварийных и тревожных оповещений, регистрацию всех системных событий и действий пользователя с распределением прав доступа. Вся информация, обрабатываемая АСУНО, хранится в удаленном отказоустойчивом сервере и отображается на компьютере пользователя через веб-интерфейс[30].

Аппаратная часть АСУНО состоит из контроллера шкафа управления С-BOX и контроллеров светильника С-NODE (по количеству светоточек или групп светоточек). Контроллер ШУНО С-Box (рисунок 1) имеет в своем составе следующие интерфейсы:

- 4 входа на 333 мВ для измерительных трансформаторов тока;
- 3 релейных выхода на 220 В/ 6 А для магнитных контакторов;
- 3 входа на 220 В для измерения напряжения (эти входы используются также для приема-передачи команд управления по питающей сети);
- 1 специализированный порт для модулей расширения (до 36 отходящих линий);
- 1 последовательный порт RS-485;
- 1 вход с измерением токовой петли 4–20 мА;
- 1 цифровой вход;
- 1 импульсный интерфейс;
- 1 USB-порт (для сервисных нужд);
- 1 SMA-порт для подключения GSM-антенны.



Рисунок 1 – Контроллер ШУНО С–ВОХ

Контроллер С–ВОХ имеет встроенную микропрограмму, которая обеспечивает его функционирование. Периодическое обновление микро программы происходит автоматически прозрачно для пользователя. Контроллеры С–NODE (рисунок 2) обеспечивают индивидуальное управление каждым конкретным светильником или группой светильников, диммирование на заданную величину по расписанию и измерение энергопараметров каждого светильника.



Рисунок 2 – Контроллер светильника С–NODE

Контроллеры C–NODE имеют в своем составе следующие интерфейсы:

- 1 перекидной релейный выход 220 В/6 А для локального отключения светильника;
- 1 универсальный настраиваемый двухпроводный интерфейс управления (1–10 В, DALI, ШИМ);
- 1 цифровой вход для подключения периферийных устройств. Архитектура АСУНО предусматривает возможность поэтапного внедрения компонентов системы. Первым этапом является установка/модернизация шкафа управления наружным освещением (ШУНО) с контроллерами C–BOX, что позволяет управлять фазами и контролировать параметры электрической сети. Вторым этапом внедрения системы является оснащение светоточек или их групп контроллерами C–NODE для управления отдельными светильниками и их диммированием (рисунок 3).



Рисунок 3 – Топология системы

Обмен данных между контроллером ШУНО C–BOX и удаленным сервером системы осуществляется по интернету с помощью GPRS–модема в составе контроллера. Передача данных между контроллером C–BOX и удаленным сервером осуществляется в зашифрованном виде, что позволяет получать данные только на месте использования. Поскольку средний объем трафика между одним контроллером и удаленным сервером составляет 50 Мбит в год, для устойчивого

соединения и экономии средств рекомендуется использовать специальные промышленные SIM–карты. Соединение между контроллером ШУНО и сервером поддерживается постоянно. Однако контроллер имеет энергонезависимую память, в которой хранятся все настройки и сценарии управления. В случае разрыва соединения контроллер пытается восстановить его и переходит в автономный режим работы по последним загруженным сценариям. После восстановления соединения происходит обновление сценариев и выгрузка на сервер данных о работе системы. Это исключает выход АСУНО LT CITYLIGHT из строя при потере связи или неустойчивом сигнале сети. Передача данных и команд управления между контроллером ШУНО и контроллерами светильников осуществляется либо по питающей сети с использованием PLC–технологии, либо по беспроводному протоколу LoRa. К одному контроллеру С–BOX может подключиться до 350 контроллеров светильников С–NODE. В существующих сетях наружного освещения этого более чем достаточно, однако при необходимости количество управляемых и отслеживаемых светоточек можно увеличить.

1.3 STADIS

Интеллектуальный светодиодный светильник (ИСС) служит для организации управляемого освещения в отдельном помещении здания или сооружения.

В основу технического построения ИСС положен метод управления освещением по силовым сетям 220 В, 50 Гц с применением технологии PLC, а также передачи команд управления в ИК–диапазоне и по радиоканалу, организованному по протоколу MiWi.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	<i>Лист</i>
						19
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

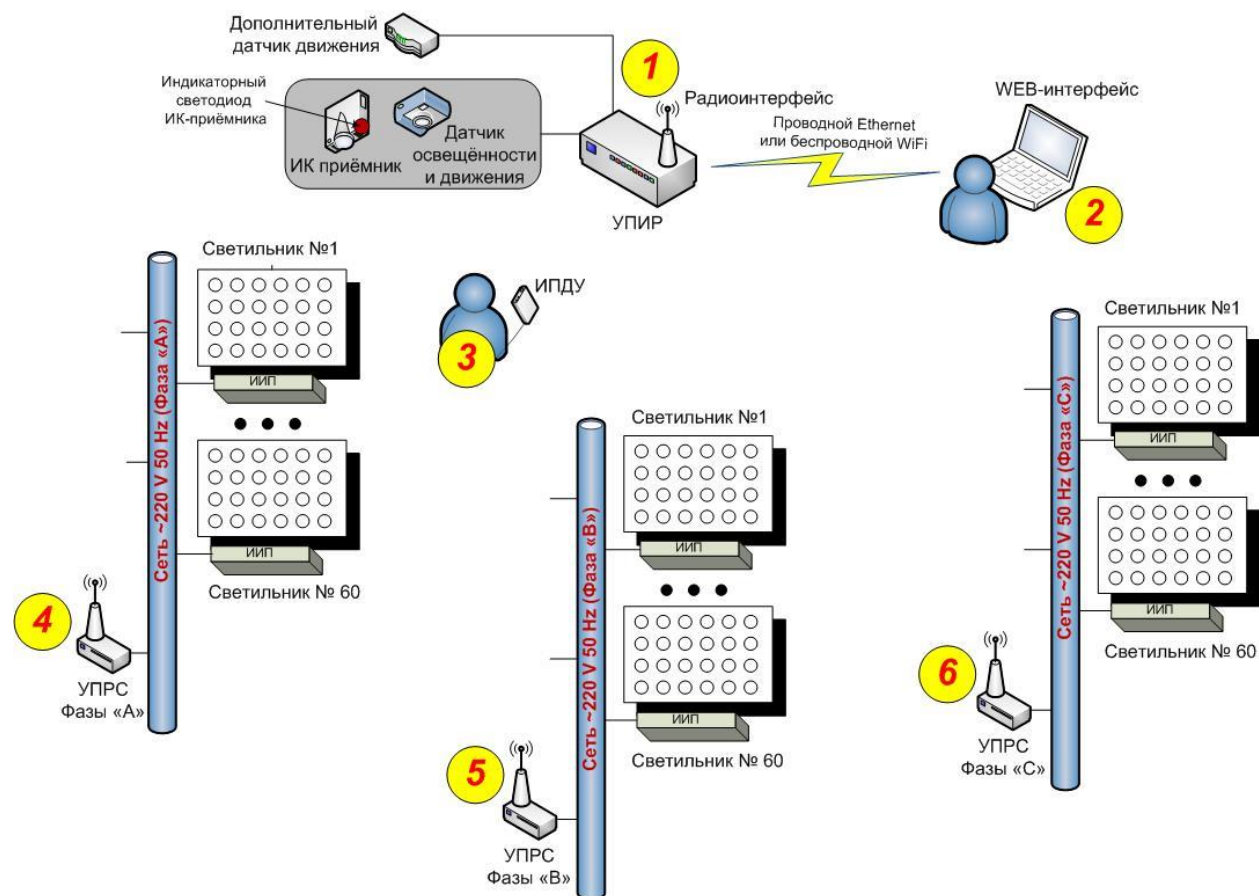


Рисунок 4 – Топология системы

Компания STADIS предлагает решения, где реализуются:

- автоматическое включение/выключение освещения по факту наличия/отсутствия людей в помещении. Временные интервалы таймера задержек выключения освещения от датчика движения могут задаваться пользователем в процессе эксплуатации или соответствовать конфигурации производителя;
- автоматическая регулировка уровня светового потока светильника в зависимости от уровня освещенности в помещении. Зависимость уровня светового потока светильника от уровня освещенности помещения может задаваться пользователем в процессе эксплуатации или соответствовать конфигурации производителя;
- конфигурирование настроек системы и дистанционное управление уровнем светового потока, как всех светильников помещения, так и каждого из

светильников в отдельности, с помощью инфракрасного пульта дистанционного управления;

– стабилизация тока питания светодиодных линеек с требуемым прямым падением напряжения на каждом из светодиодов светильника в рабочем диапазоне входных напряжений питающей сети 220 В 50 Гц [31].

Состав ИСС представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав ИСС

Составная часть ИСС	Назначение	Количество
Интеллектуальный источник питания (ИИП)	Обеспечение стабилизированного питания светодиодных линеек с требуемым прямым падением напряжения на каждом из светодиодов светильника в рабочем диапазоне входных напряжений питающей сети 220 В, 50 Гц, а также прием команд управления уровнем светового потока светильника и команд конфигурации по проводам питающей сети 220 В, 50 Гц	По числу светильников в помещении
Устройство преобразования инфракрасного сигнала пульта дистанционного управления в радиосигнал управления системы питания светильников (УПИР)	Преобразование первичных сигналов управления пользователя (инфракрасный канал управления, локальная сеть ТСР/Р) в радиосигналы УПРС, обеспечивает хранение настроек системы в энергонезависимой памяти	Один на помещение

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.04.04.2019.229 ПЗ

Лист

21

Продолжение таблицы 1

Составная часть ИСС	Назначение	Количество
Устройство преобразования радиосигнала управления в сигнал интерфейса, обеспечивающего передачу данных по проводам питающей сети 220 В, 50 Гц к каждому из светильников помещения (УПРС)	Преобразование радиосигнала управления от УПИР в сигнал интерфейса, обеспечивающего передачу команд управления по проводам питающей сети 220 В, 50 Гц к каждому из светильников помещения	Соответствует числу фаз питающей сети 220 В, 50 Гц
Инфракрасный пульт дистанционного управления (ИПДУ)	Пользовательское управление ИСС	Один на помещение

Настройка параметров функционирования ИСС, а также управление освещением осуществляется администратором системы электроосвещения (а при наличии достаточной квалификации, и пользователем) по проводному (LAN Ethernet) или беспроводному (Wi-Fi) соединению УПИР с точкой доступа системы объединенных компьютерных сетей (локальной сети учреждения или здания). Основные технические характеристики приведены в таблице 2.

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

Таблица 2 – Основные технические характеристики

Наименование измерения	характеристики	единицы	Значение характеристики
Допустимый диапазон напряжений питания сети 50 Гц, В			160...250
Диапазон рабочих температур, °С			0...50
Количество поддерживаемых команд ИПДУ			11
Количество фаз силовой сети – линий управления светильниками, шт.			3
Максимальное количество подключаемых к одной фазе, шт.	количество	светильников,	60
Максимальное количество датчиков движения, шт.	количество	поддерживаемых	2 (встроенный и внешний)
Диапазон регулировки яркости светильников, %			0...100
Шаг регулировки яркости светильников в ручном режиме:			
при управлении с ИПДУ, %			20
при управлении через WEB–интерфейс, %			1
Диапазон значений таймаута работы светильников после срабатывания датчика движения, с			10...2550
Тип IP–адрес для WEB–интерфейса			статический, IPv4
Номер TCP–порта для подключения к WEB– интерфейсу			80 (станд. для http)
Максимальное количество подключаемых к WEB–интерфейсу	количество	пользователей,	2
Период обновления информации через WEB– интерфейс, с			0,5
Период опроса датчика освещенности, с			5
Время доведения команды управления с ИПДУ на светильники, с			0,7...1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.04.04.2019.229 ПЗ

Лист

23

Продолжение таблицы 2

Наименование измерения	характеристики единицы	Значение характеристики
Максимальная дальность радиосвязи между УПИР и УПРС:		
для железобетонных зданий, м		10...15
для кирпичных зданий, м		15...25
для условий прямой видимости, м		200
Максимальная дальность обнаружения человека встроенным датчиком движения, м		6
Диапазон регулировки выходных токов ИИП (светодиодов каждого из светильников), мА		100...500
Нестабильность выходного тока ИИП во всем диапазоне рабочих температур и напряжения питания не более, %		5
Максимальный световой поток светодиода, лм		101,8
Прямое падение напряжения на каждом светодиоде светильника, В		3,6...4,2
Коэффициент пульсаций выходного тока ИИП (тока питания светодиодов), не более, %		5
Коэффициент полезного действия ИИП, %		92
Мощность, потребляемая ИИП, Вт		не более 40
Мощность, потребляемая УПИР, Вт		не более 10
Мощность, потребляемая УПРС, Вт		не более 10
Средняя наработка на отказ, час		не менее 40000
Срок службы, лет		Не менее 6

1.4 Энергокруг

Характеристика автоматизированной системы.

Система управления освещением построена по иерархическому принципу и представляет собой двухуровневую структуру (рисунок 5).

Нижний уровень системы состоит из шкафов управления пунктов включения (ШУ ПВ), оборудованных контроллерами связи, и светодиодных светильников производства ПО «Электроточприбор». ШУ ПВ могут располагаться в трансформаторных подстанциях или непосредственно у линий освещения, на открытом пространстве.

Верхний уровень – центральный диспетчерский пункт. От ЦДП поступают команды управления освещением (включение/отключение, задание уровня мощности или освещенности, смена режима, расписание работы и т.д.).

В состав ПВ входит контроллерное оборудование, осуществляющее адресное алгоритмическое управление подключенных к нему по силовой питающей линии опор освещения; управляемое цифровым сигналом коммутационное оборудование, осуществляющее подачу питания на линии освещения (лучи); счетчики электроэнергии с цифровым интерфейсом, осуществляющие учет потребления электроэнергии и контроль показателей качества сети[11].

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

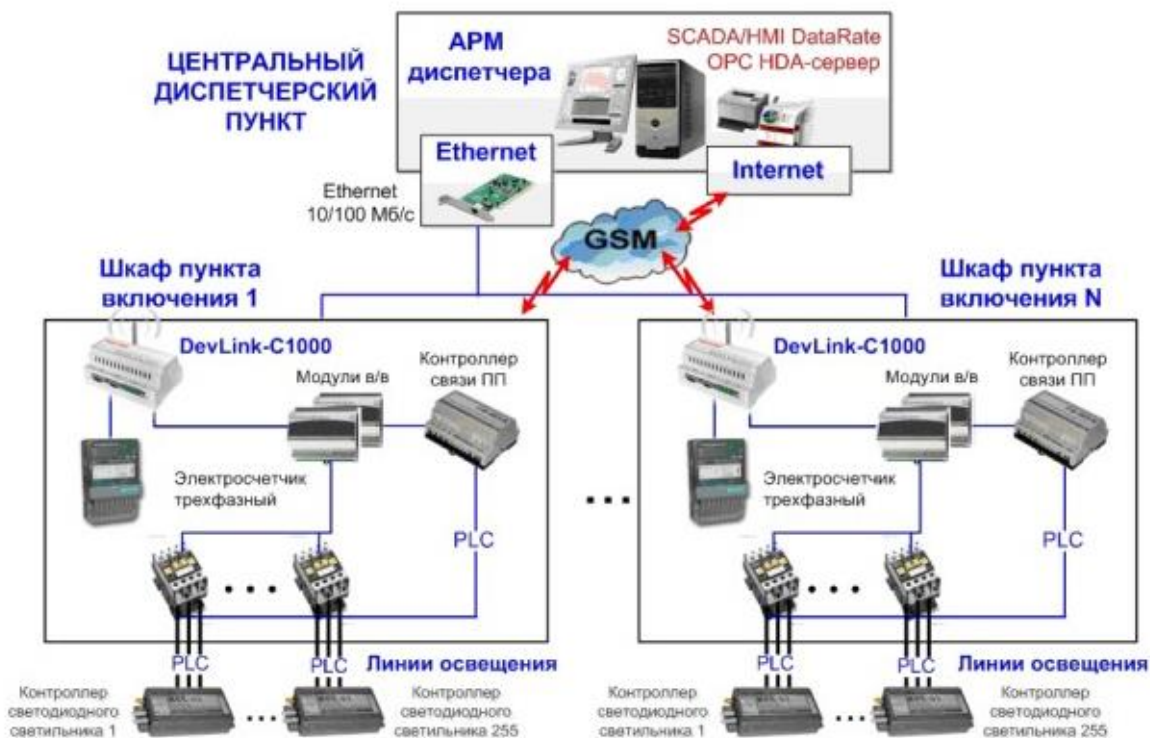


Рисунок 5 – Структурная схема системы Энергокруг

Для передачи данных возможно использование радиоканалов, каналов связи GPRS, PLC, проводной (оптоволоконной) и телефонной линий связи. ЦДП имеет возможность передачи данных на более высокий уровень по локальной сети Ethernet [33].

Контроллерное оборудование состоит из свободнопрограммируемого промышленного контроллера DevLink–С1000, модулей ввода/вывода унифицированных сигналов DevLink–А10 и контроллера связи со светодиодными светильниками производства НТФ «Микроникс». Контроллеры DevLink–С1000 осуществляют обмен данными с серверами центрального диспетчерского пункта.

Для обеспечения адресного управления в корпус каждого светодиодного светильника устанавливается специализированный контроллер связи, осуществляющий:

- управление мощностью светильника согласно сигналам, поступающим от контроллерного оборудования пункта включения по силовым линиям (PLC);
- диагностику состояния светильника;
- измерение показателей освещенности в зоне действия световой опоры и т.д.

1.5 GALAD

Компания предлагает рассмотреть систему группового управления 0–10 В, в которой на специальный вход драйвера или электронного пускорегулирующего аппарата подаётся постоянное напряжение (рисунок 6).

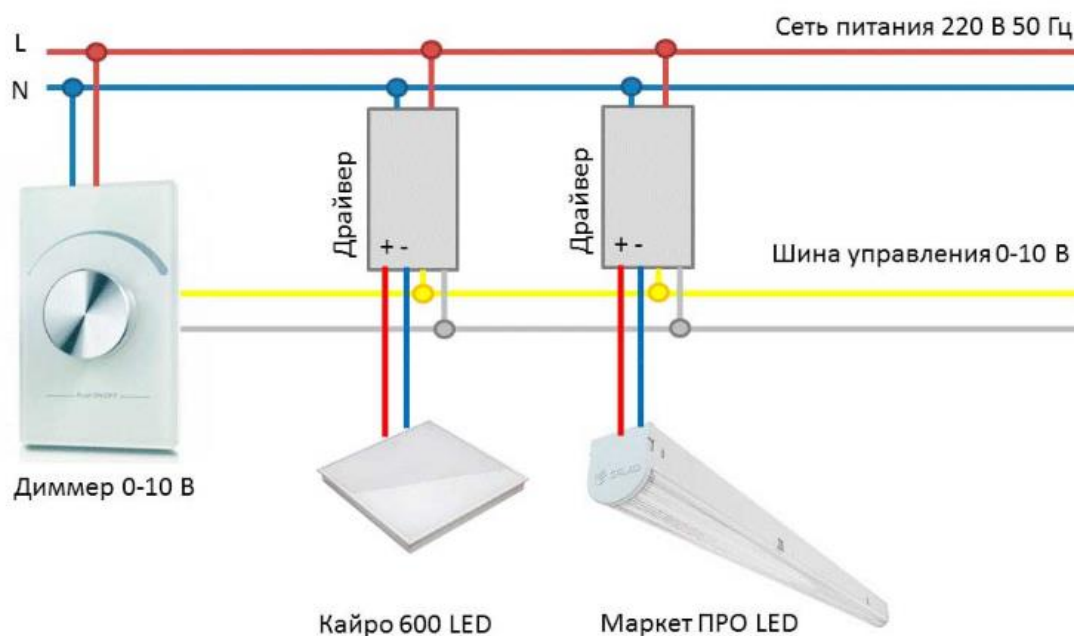


Рисунок 6 – Пример возможной сети с групповым управлением по протоколу 0–10V

Величина этого напряжения определяет величину светового потока светильника: 0 В — 0 %, 10 В — 100 %. Аналогичным образом функционирует система управления 1–10 В, только величина управляющего напряжения в 1 В определяет минимально возможный световой поток, а при подаче 0 В на вход управления, светильник выключается [34].

Компания акцентирует внимание о важности освещения в разное время дня, пример диммирования на рисунке 7.

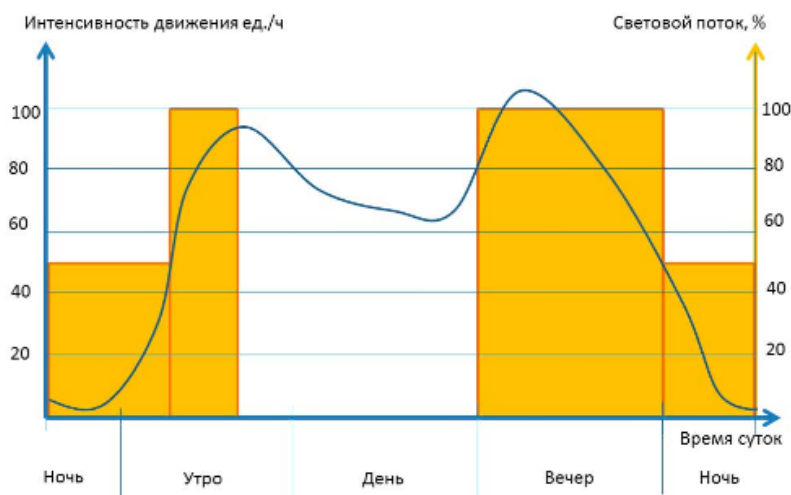


Рисунок 7 – Пример диммирования наружного освещения в ночные часы

1.6 Автоматизированная система управления и контроля освещения АСУНО КУЛОН

АСУНО КУЛОН представляет собой программно–аппаратный комплекс, состоящий из набора модулей и специализированного базового программного обеспечения и сервера статистики КУЛОН.

Групповое управление и диммирование

Включение/отключение освещения по расписанию. Возможность пофазного отключения или диммирования для повышения срока службы газоразрядных ламп и экономии электроэнергии. Диагностика напряжения на отходящих линиях. Сбор информации со счетчиков. Возможность построения АСКУЭ. Интеграция в существующую систему управления [35].

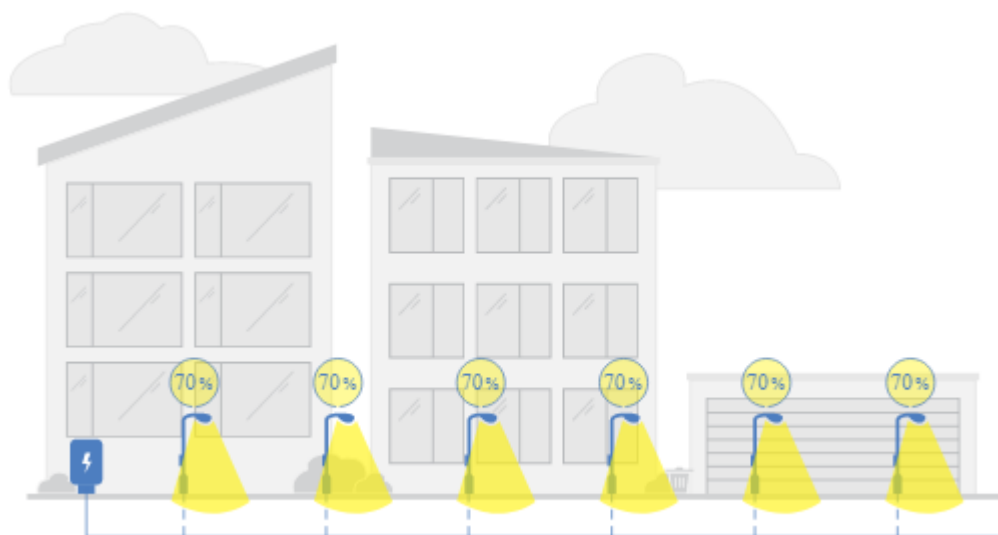


Рисунок 8 – Групповое освещение и диммирование

Индивидуальное управление и контроль

Включение/отключение каждого отдельного светильника или групп светильников. Регулировка мощности отдельных светильников в диапазоне 0–100%. Возможность управления светильниками, подключенными к разным источникам энергоснабжения. Сбор информации об энергопотреблении с каждого светильника. Сбор информации со счетчиков. Возможность построения АСКУЭ.

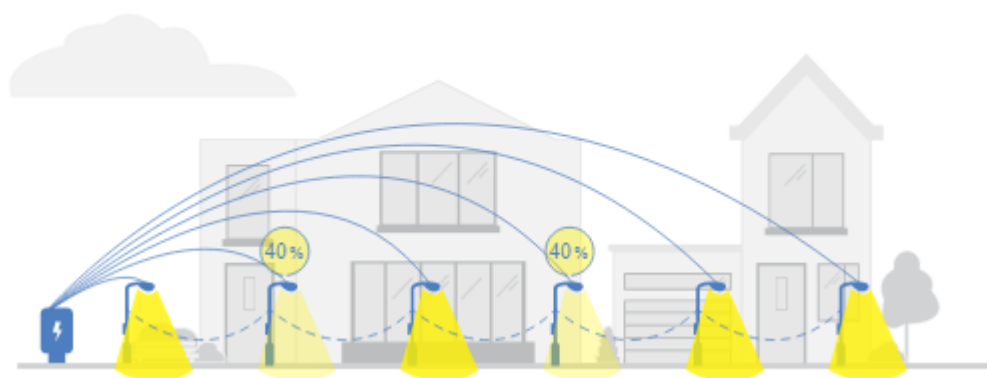


Рисунок 9 – Индивидуальное управление и контроль

Основными средствами в построении систем являются:

- кулон–ц: контроллер для удаленного управления и диагностики освещения, а также передачи информации в единую диспетчерскую службу по GSM/GPRS;
- кулон–ц2: контроллер нового поколения для удаленного управления и диагностики освещения, а также передачи информации в единую диспетчерскую службу по GSM/GPRS/3G.

Внешний вид приборов кулон–ц и кулон–ц2 показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид прибора кулон ц, кулон ц2

- модуль PLC: блок управления и контроля по силовой линии (рисунок 11).



Рисунок 11 – Внешний вид прибора модуль PLC

– модуль РД: блок управления по радиоканалу (рисунок 12).



Рисунок 12 – Внешний вид прибора модуль РД

– модуль ЦМ: контроллер управления светильниками по GSM (рисунок 13).



Рисунок 13 – Внешний вид прибора модуль ЦМ

Модуль диммирующий кулон–д: модуль стабилизации и регулировки напряжения в трехфазных электрических линиях для управления газоразрядными светильниками с электромагнитным дроссельным балластом (рисунок 14).



Рисунок 14 – Внешний вид прибора модуль диммирующий кулон–д

1.7 Модуль С

Компания ООО «НОРВИКС–ТЕХНОЛОДЖИ» предлагает разработку для автоматизации управления освещением — «Модуль–С» и решения на его основе, обеспечивающие управление наружным и архитектурным освещением малых и средних объектов:

- наружное и архитектурное освещение здания;
- освещение прилегающих территорий;
- уличное освещение небольшого населённого пункта.

Решения основаны на принципе масштабируемости, позволяя наращивать количество модулей в автоматизированной системе управления освещением. АСУНО «Модуль–С» выгодно отличается широким выбором режимов управления. В зависимости от внешних факторов, места установки и собственных предпочтений заказчик может выбрать один из пяти режимов работы системы управления уличным освещением:

- ручной. Осуществляется по команде оператора. Режим предназначен для тестирования работоспособности линий освещения и принудительного управления в нештатных ситуациях;

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ				

– по расписанию. Включение и выключение освещения осуществляется в заранее заданное время;

– автоматически по датчику освещения. В зависимости от текущего уровня освещенности и его минимального порогового значения система сама управляет освещением;

– управление по восходу / закату солнца. На основе географических координат контроллерное оборудование вычисляет время восхода и заката солнца на конкретную дату, и в соответствии с полученными данными управляет освещением. Для компенсации отличий фактического времени восхода/ заката от расчётного, например, из-за рельефа местности, предусмотрены поправочные коэффициенты.

Комбинированный режим работы системы управления наружным освещением. При выборе этого режима возможно выделение нескольких линий в качестве дежурных, для которых сигналы датчиков освещённости будут являться приоритетными, например, над сигналами расписания. Применяется в том случае, если изменение погодных условий может серьезно влиять на освещённость, а также для управления освещением служебных помещений в течение рабочего дня [36].

По желанию заказчика программно–аппаратный комплекс АСУНО оборудуется счётчиками электрической энергии. В таком варианте эксплуатирующие службы получают возможность:

- вести учёт потребляемой электроэнергии;
- контролировать качество электроэнергии;
- оперативно получать сообщения о перегорании ламп освещения;
- отслеживать несанкционированное подключение нагрузок к линии.

Возможности системы управления наружным/уличным освещением.

К «Модулю–С» может быть подключено до 32 линий освещения.

По умолчанию предусмотрено подключение линий освещения к АСУНО по сети Ethernet, дополнительно может комплектоваться GPRS/GSM/3G–модемом или точкой доступа Wi-Fi.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Для экономии электроэнергии возможно частичное отключение ламп в ночное время суток в тех случаях, когда число людей на объекте снижается.

На базе «Модуля–С» предлагаются два решения с использованием универсальных средств автоматизации и OPC–технологий, отличающихся функциональностью, стоимостью.

Первое решение представляет собой упрощенную версию системы управления наружным освещением. Управление осуществляется с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК). SCADA–система разрабатывается в среде программирования контроллера и загружается в его энергонезависимую память. Такой вариант SCADA–системы содержит визуализацию самых необходимых показателей. Диспетчер системы управления наружным освещением посредством веб–браузера загружает из ПЛК «Модуля С» экранную форму с текущими показаниями, которые отображаются в реальном времени. Каждый модуль выводится в отдельное окно браузера. Система получается простой, надежной и сравнительно дешевой за счет интеграции визуальных средств управления в память контроллера. Используется в случае, если нет необходимости в создании полноценной SCADA–системы.

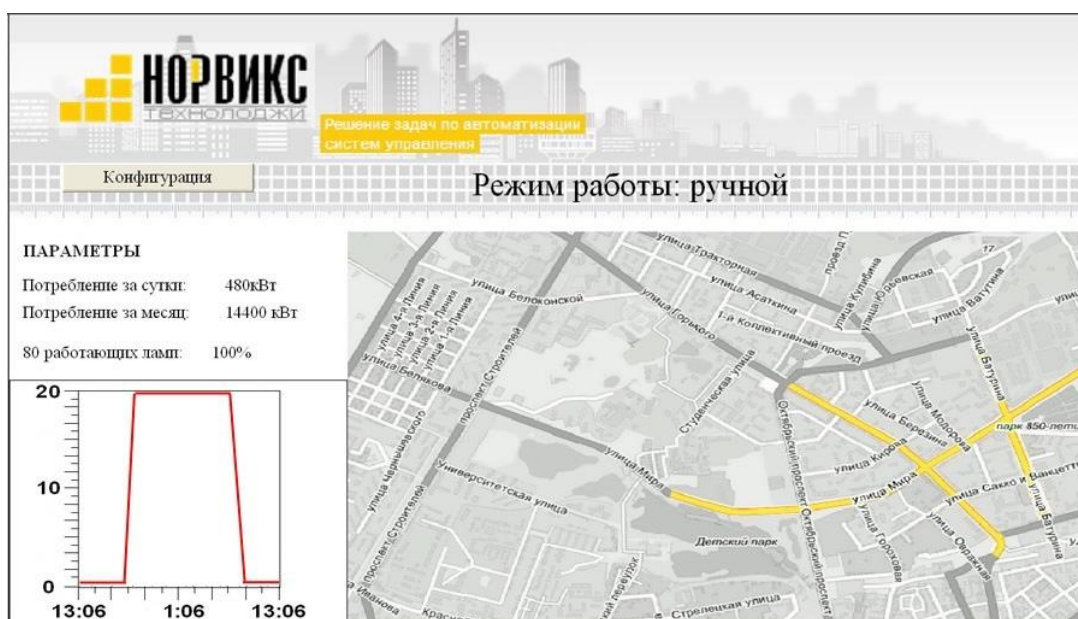


Рисунок 15 – Упрощенный вариант SCADA–системы Модуль С

Во втором варианте решения SCADA–система является полноценным компонентом всей автоматизированной системы управления освещением, содержит самую полную информацию о ней, позволяет настраивать как визуализацию, так и архивацию данных. Средства визуализации позволяют вывести на экран целостную картину всей системы, а также информацию по каждому модулю. Под SCADA–отводится сервер, который устанавливается в диспетчерском пункте. Этот вариант может использоваться как законченное решение или легко интегрироваться в общую систему управления объекта.

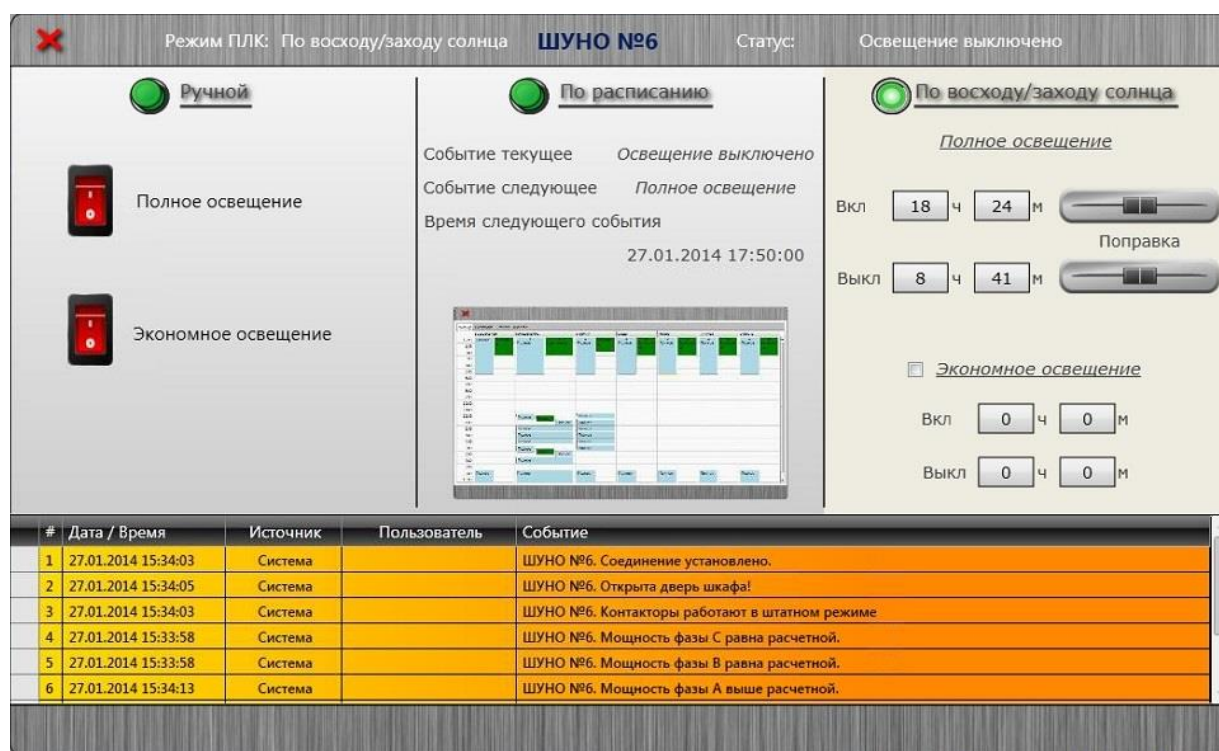


Рисунок 16 – Полноценная версия SCADA–системы Модуль С

АСУНО «Модуль–С» выполняется с различной степенью защиты:

По умолчанию в базовой комплектации для установки в помещениях применяется контроллерное оборудование с рабочим диапазоном при температурах от 0 до +50°С.

Для эксплуатации вне помещений:

– для районов умеренного климата (У, У1) с диапазоном рабочих температур от –20 до +50°С устанавливаются контроллеры с расширенным диапазоном температур;

– для районов с умеренно холодным и холодным климатом (УХЛ, ХЛ) шкафы комплектуются устройствами подогрева и контроллерным оборудованием с диапазоном рабочих температур от –40 до +80°С.

1.8 Автоматизированная система управления освещением «Меркурий»

Основные функции:

– автоматический режим управления освещением – работа по расписанию (годовой график задаётся на уровне диспетчерского центра) с возможностью внесения изменений;

– местный ручной режим управления освещением;

– автоматизированный сбор, хранение и обработка данных об энергопотреблении и параметрах электросети (токи, напряжения, частота сети и др.);

– оповещение персонала об аварийных ситуациях (индикация на SCADA–форме, звуковой и световой сигнал, SMS, электронная почта);

– формирование заключений о количестве перегоревших ламп на основе данных об энергопотреблении за текущий и предыдущий периоды;

– формирование канала связи GSM/GPRS/Интернет со шкафами управления освещением;

– удалённое конфигурирование шкафов управления освещением;

– ведение локальных регистраторов (журналов событий) включения и отключения, сеансов связи, аварийных и прочих событий; ведение системного журнала событий на сервере АСУНО.

Преимущества и особенности:

– использование нескольких независимых каналов управления освещением (GSM и Ethernet);

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

15.04.04.2019.229 ПЗ

- контроль хищения по отклонению тока потребления;
- передача данных об энергопотреблении в биллинговые системы для формирования отчетности, выставления счетов и т.п.;
- режим освещения «регулируемый» (оперативное внесение корректив в расписание).

Использование системы в качестве модуля, при создании комплексной системы управления городской инфраструктурой, АСДУ электросетевого предприятия, системы учета.

Передача на сервер АСУНО данных о реальных погодных условиях с автоматических метеостанций и параметров окружающей среды с датчиков.

Работа с оборудованием диммирования.

Основные технические характеристики.

Технические характеристики:

- PLC – совместимость со стандартами CENELEC–A, PLC–Lite;
- тип модуляции – OFDM;
- частотный диапазон – 35...90 кГц;
- количество поднесущих – 49;
- максимальная скорость обмена данными – 21кБит/с;
- сетевой уровень – InStatic;
- прикладной протокол – COAP;
- количество подключаемых светильников – до 200 штук;
- количество ретрансляций – до 8.

Методы управления:

Нецентрализованное управление.

Один из узлов осветительной сети (светильник) является точкой доступа. С мобильной платформы или компьютера можно задавать режимы работы всех остальных точек осветительной сети и последующим записью расписания в каждый отдельный светильник. Либо с мобильной платформы можно изменять режимы осветительной сети вручную в любой момент времени. Связь производится при помощи встроенного в точку доступа BLE интерфейса.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

С контроллера сегмента.

Контроллер сегмента выполняет управление по заданной программе либо представляет возможность изменять параметры сети вручную через встроенный WEB-интерфейс. В этом случае к контроллеру сегмента может быть подключен внешний GPS приемник для получения точного времени системы, а также уточнения координат системы с целью получения времени захода и восхода солнца. Контроллер также может выполнять оповещения оператора системы о неполадках оборудования.

Диспетчерский контроль.

Сегмент включается в общую систему управления освещением и другими ресурсами. Обмен информацией через систему связи общего пользования: Интернет, GSM при использовании открытых протоколов доступа и технологий безопасного подключения (в частности CISCO).

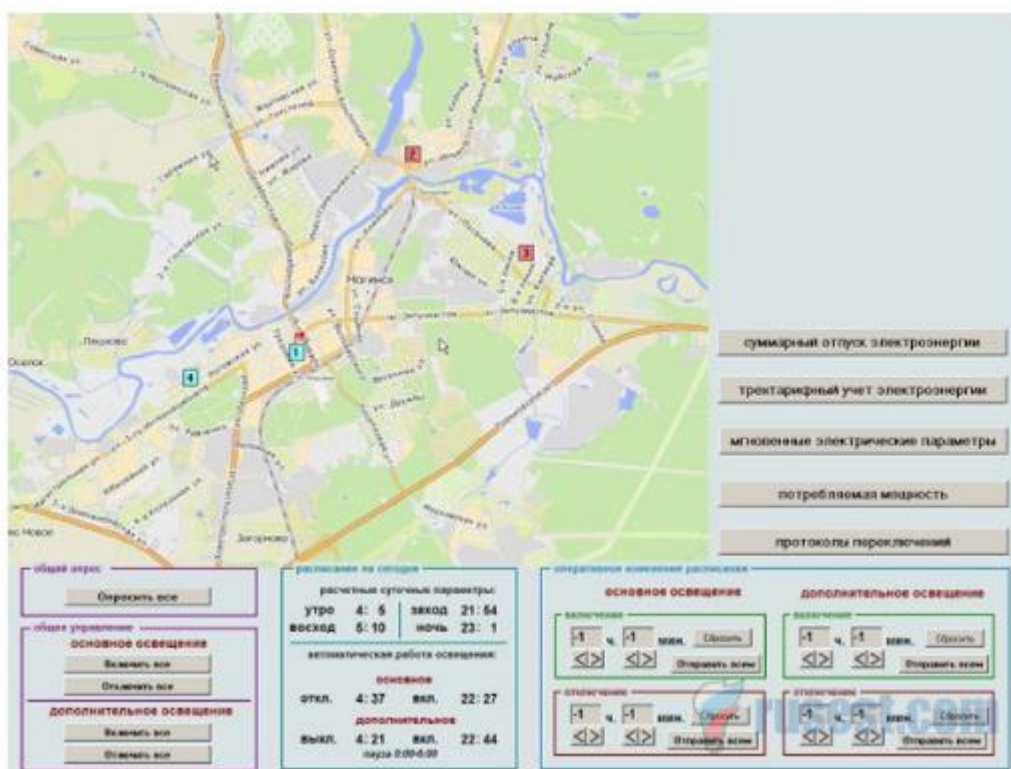


Рисунок 17 – Внешний вид АСУНО

Вывод по разделу один

Был проведен обзор существующих систем освещения по питающей сети. Можно увидеть, что производители программного обеспечения отлаживают работу программ под конкретные аппаратные устройства с невозможностью их замены. Необходимо учесть, что должно присутствовать управление с АРМ и возможность диммирования с постоянного источника питания для обеспечения автономности. Должна присутствовать возможность наращивания устройств без потери в качестве, т.е. необходимо провести расчет линии связи.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

2 Структура протокола обмена

В спроектированной интеллектуальной системе по питающей сети главными элементами являются:

– ведущее устройство – master – всегда одно в системе. Позволяет осуществлять двусторонний обмен по питающей сети. А также служит для обмена по интерфейсу RS-485;

– репитер – repeater – служит для ретрансляции сообщения в линии и управления источником света. Позволяет осуществлять двусторонний обмен. Система может содержать до 15 репитеров. Репитер имеет свой уникальный адрес, который устанавливается на этапе конфигурации сети;

– ресивер – receiver – служит для приема посылок и управления источниками света. Работает только как приемник. Каждый ресивер в системе имеет свой адрес и выполняет все команды установки яркости, которые до него доходят, если они совпадают с установленной в нем группой и с установленным в нем адресом либо содержат поле адреса, равное 0 (являются широковещательными). Номер группы в команде должен быть обязательно указан отличным от 0. Адрес ресивера и адрес группы устанавливаются на этапе конфигурации сети.

Структура линейной системы связи представлена на рисунке 18.

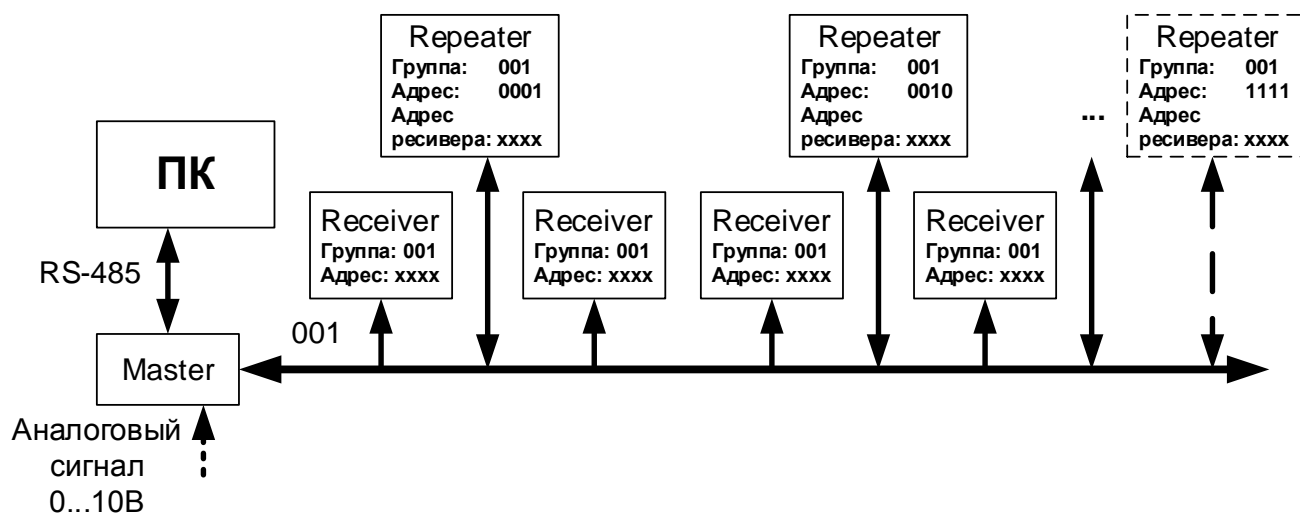


Рисунок 18 – Структура линейной системы связи

Структура разветвленной системы связи представлена на рисунке 19.

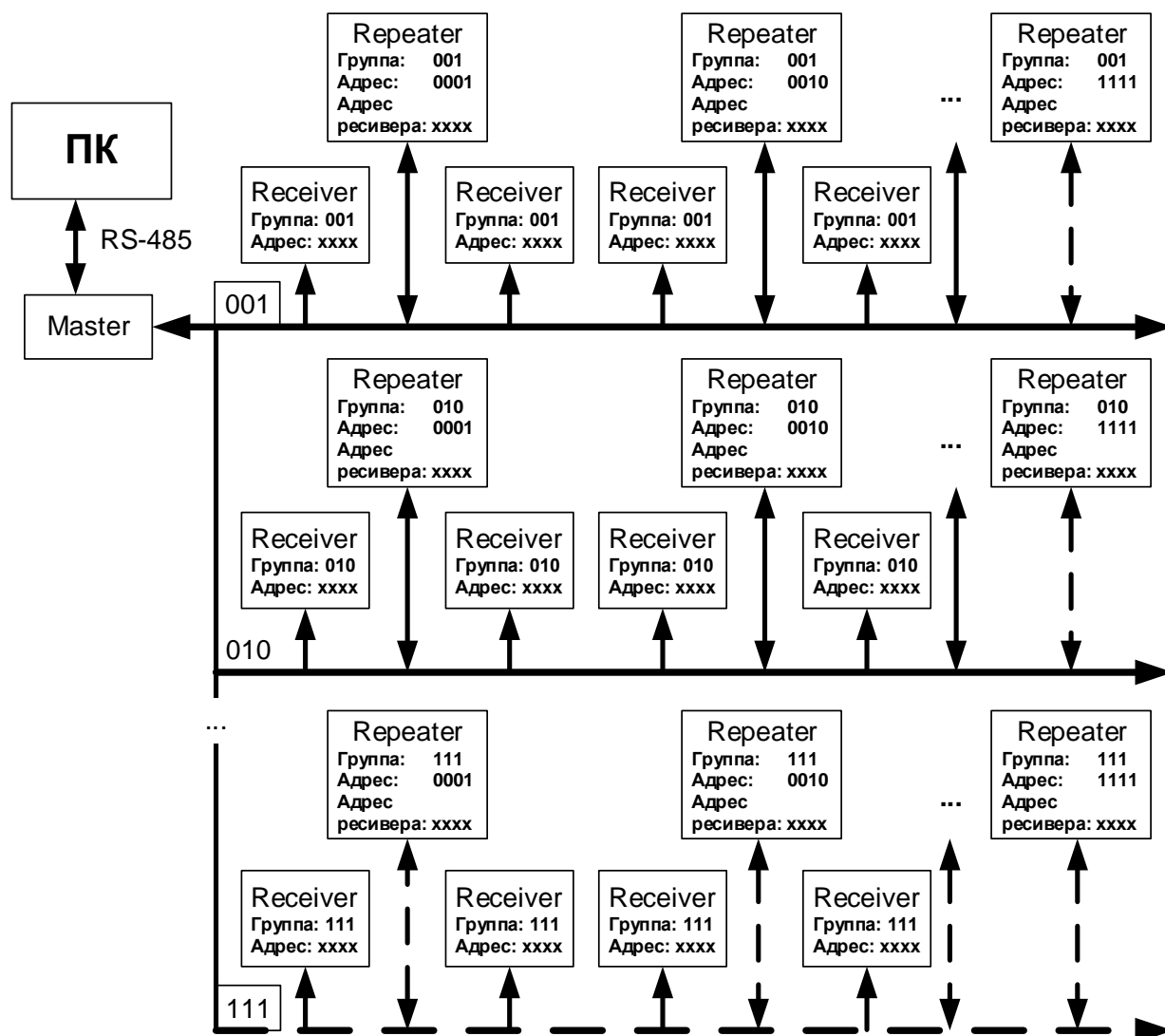


Рисунок 19 – Структура разветвленной системы связи

Адреса репитеров в линии (в группе) являются строго последовательными. Репитер принимает посылку и транслирует ее в линию только в случае, если в поле "передающее устройство" содержится адрес на 1 меньше его собственного для запроса (группа должна совпадать). Ответ, наоборот, транслируется в случае, если в поле "передающее устройство" содержится адрес на 1 больше собственного адреса репитера и группа совпадает. Передающее устройство всегда имеет

собственный адрес, равный 0. При трансляции посылки репитер в поле "передающее устройство" подставляет свой собственный адрес.

Посылку, сформированную транзиттером, будет транслировать только первый репитер. Второй репитер транслирует только посылку от первого репитера, третий – от второго и так далее.

Ответы (поле ответ равно 1) транслируются в обратном направлении: второй репитер транслирует ответ от третьего, первый – от второго, передающее устройство воспринимает только ответ первого репитера. Каждый репитер может выполнять функции ресивера.

Каждый репитер имеет три адреса:

- адрес группы;
- собственный адрес репитера;
- адрес ресивера.

Ресивер имеет два адреса: адрес группы и адрес ресивера. Адреса ресиверов в линии связи могут размещаться произвольно.

Команду изменения яркости будут выполнять только те ресиверы, для которых адрес получателя совпал с их собственным адресом при совпадении адреса группы.

В линейной структуре у всех ресиверов и репитеров установлен один и тот же адрес группы. По умолчанию адрес группы и собственный адрес всех ресиверов установлены равными 1. Основные характеристики системы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные характеристики системы

Наименование характеристики	Значение характеристики
Максимальное количество групп	7
Максимальное количество репитеров в группе	15
Максимальное количество ресиверов в группе	15

Продолжение таблицы 3

Наименование характеристики	Значение характеристики
Максимальное время связи с последним репитеров в группе	Не более 10 с
Количество градаций изменения яркости	16
Частота передачи нулевого бита по сети	94 117 Гц
Частота передачи единичного бита по сети	106 666 Гц
Скорость обмена по интерфейсу RS-485	19200 бит/с
Аналоговое управляющее напряжение	0...10 В
Время между командами установки яркости в аналоговом режиме	10 с

2.1 Описание режимов работы

Система может работать в одном из двух режимов:

- режим управления по RS-485;
- аналоговый режим.

Переключение режима работы осуществляется по интерфейсу RS-485 соответствующей командой.

Аналоговый режим предполагает измерение аналогового напряжения (0...10В) на соответствующем входе master-устройства и передачу соответствующей команды установки яркости в линию каждые 10 секунд.

Регулировочная характеристика измерения аналогового сигнала является линейной и приведена в таблице 4.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4 – Градация яркости

Напряжение, В	Яркость, %	Значение по RS-485
0	100	0x0F
1	90	0x0E
2	80	0x0D
3	70	0x0C
4	60	0x0B
5	50	0x0A
5,5	45	0x09
6	40	0x08
6,5	35	0x07
7	30	0x06
7,5	25	0x05
8	20	0x04
8,5	15	0x03
9	10	0x02
9,5	5	0x01
10	0	0x00

Аналоговый режим может быть использован только в линейной структуре. Все команды, передаваемые в линию в аналоговом режиме, являются ширококвещательными и адресованными только группе 1. То есть в этом режиме все ресиверы 1 группы изменяют свой управляющий сигнал яркости в соответствии с указанием в посылке по сети.

В аналоговом режиме воспринимается по интерфейсу RS-485 только команда установить режим.

Режим управления по RS–485 предполагает использование следующих команд:

– установить яркость. В команде обязательно должен быть указан адрес группы и адрес ресивера, для которого предназначена команда. Команда также предусматривает широковещательное управление. При этом адрес ресивера указывается равным 0. Такую команду выполняют все ресиверы в группе. Указание адреса группы в команде обязательно;

– связаться с репитером. В команде обязательно должен быть указан адрес группы и адрес репитера, с которым необходимо связаться. Если репитер с таким адресом в линии отсутствует, то вернется ответ от последнего репитера в линии. Команда не предусматривает нулевое значение поля «адрес репитера»;

– запросить параметры. В команде обязательно должен быть указан адрес группы. В ответном сообщении передается установленный в мастере режим работы, а также амплитуда сигнала, полученного от репитера с адресом 1 в указанной группе (максимальное значение соответствует 255) и количество репитеров в указанной группе, которое получено при выполнении команды «связаться с репитером».

Конфигурация репитеров и ресиверов происходит тоже в режиме управления по RS–485. При конфигурации предполагается, что только одно устройство (репитер или ресивер) подключено к сети наряду с мастером.

После сброса питания установленная конфигурация репитеров и ресиверов сохраняется.

– установить адрес группы – передает значение адреса группы подключенному репитеру или ресиверу.

– установить адрес репитера – передает значение адреса репитера подключенному репитеру.

– установить адрес ресивера – передает значение адреса ресивера подключенному репитеру или ресиверу.

– запросить адреса репитера – репитер, в данный момент подключенный к сети, передает в ответе на эту команду собственный адрес группы, собственный адрес репитера и собственный адрес ресивера.

									15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист	
										45	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

2.2 Описание команд управления по интерфейсу RS-485

Общий вид команды по интерфейсу RS-485 представлен на рисунке 20.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0x3A	Команда	Группа	Адрес	Данные	CRC	0x0D	0x0A					

Рисунок 20 – Общий вид команды по интерфейсу RS-485

Зеленым цветом обозначена изменяемая часть посылки. CRC вычисляется по следующей формуле.

$$CRC = \overline{\langle 2 \rangle \langle 3 \rangle} + \overline{\langle 4 \rangle \langle 5 \rangle} + \overline{\langle 6 \rangle \langle 7 \rangle} + \overline{\langle 8 \rangle \langle 9 \rangle} + 1. \quad (1)$$

При вычислении CRC складываются коды каждого байта значимой части, передаваемого в виде пары байтов.

На рисунке 21 показан пример команды с передающими значениями. Для нее CRC вычисляется следующим образом.

$$CRC = \overline{0x57 + 0x31 + 0x31 + 0x46} + 1 = \overline{0xFF} + 1 = 0x00 + 1 = 0x01. \quad (2)$$

Полученное значение кодируется двумя байтами: 0x30='0' и 0x31='1'.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	37	33	31	33	31	34	36	30	31	0x0D	0x0A
	W		'1'		'1'		F					

Рисунок 21 – Пример команды для расчета CRC

Команды представляют собой кодирование соответствующего символа двумя байтами.

2.3 Список команд протокола обмена

Для управления уличным освещением создан следующий список команд.

1. Название – установить яркость (рисунок 22).

Символ – W.

Пример:

Команда активна только в режиме управления по RS–485.

Запрос формируется следующим образом.

- номер группы – в битах 4, 5;
- адрес ресивера – в битах 6, 7;
- уровень яркости – в битах 8, 9 (см. таблицу 4).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	37	33	31	33	31	34	36	30	31	0x0D	0x0A
	'W'		'1'		'1'		'F'					

Рисунок 22 – Запрос команды «установить яркость»

Ответ: дублирует код команды и передает текущий режим работы (рисунок 23):

- 1 – управление по RS–485;
- 2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3A	35	37	30	31	41	38	0x0D	0x0A
	'W'		Режим		CRC			

Рисунок 23 – Ответ на запрос команды «установить яркость»

2. Название – связаться с репитером (рисунок 24).

Символ – R.

Пример:

Команда активна только в режиме управления по RS–485.

Запрос формируется следующим образом.

												Лист
												47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								

- номер группы – в битах 4, 5;
- адрес Репитера – в битах 6, 7;
- данные = 0 (всегда) – в битах 8, 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	32	33	31	33	31	33	30	31	43	0x0D	0x0A
	'R'		'1'		'1'		'0'					

Рисунок 24 – Запрос команды «связаться с репитером»

Ответ: дублирует код команды и передает текущий режим работы (рисунок 25):

- 1 – управление по RS-485;
- 2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3A	35	32	30	31	41	44	0x0D	0x0A
	'R'		Режим		CRC			

Рисунок 25 – Ответ на запрос команды «связаться с репитером»

3. Название – установить режим (рисунок 26).

Символ – М.

Пример:

Запрос формируется следующим образом.

- группа = 0 (всегда) – в битах 4, 5;
- адрес = 0 (всегда) – в битах 6, 7;
- данные = режим – в битах 8, 9:

- 1 – режим управления по RS-485;
- 2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	34	44	33	30	33	30	33	31	32	32	0x0D	0x0A
	'M'		'0'		'0'		'1'					

Рисунок 26 – Запрос команды «установить режим»

Ответ: дублирует код команды и передает текущий режим работы (рисунок 27):

- 1 – управление по RS–485;
- 2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3A	34	44	30	31	42	32	0x0D	0x0A
		'M'	Режим		CRC			

Рисунок 27 – Ответ на запрос команды «установить режим»

4. Название – Запросить параметры (рисунок 28).

Символ – Q.

Пример:

Запрос формируется следующим образом.

- номер группы – в битах 4, 5;
- адрес = 0 (всегда) – в битах 6, 7;
- данные = 0 (всегда) – в битах 8, 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	31	33	31	33	30	33	30	31	45	0x0D	0x0A
		'Q'	'1'	'0'			'0'					

Рисунок 28 – Запрос команды «запросить параметры»

Ответ: дублирует код команды и передает (рисунок 29):

- амплитуду сигнала (значение от 0 до 255) – в битах 4, 5;
- количество репитеров в группе (от 1 до 15) – в битах 6, 7;
- текущий режим работы – в битах 8, 9:
 - 1 – управление по RS–485;
 - 2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	31	30	42	30	32	30	31	41	31	0x0D	0x0A
		'Q'		0В - амплитуда		02 - Кол-во репитеров		01 - Режим		CRC		

Рисунок 29 – Ответ на запрос команды «запросить параметры»

5. Название – Запросить адреса репитера (рисунок 30).

Символ – Z.

Пример:

Команда предполагает, что в момент ее выполнения к линии подключен только один Репитер.

Запрос формируется следующим образом.

группа – в битах 4, 5:

0 – для отправки запроса репитеру;

1 – для передачи полученных данных по RS-485:

– адрес = 0 (всегда) – в битах 6, 7;

– данные = 0 (всегда) – в битах 8, 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	41	33	30	33	30	33	30	31	36	0x0D	0x0A
		'Z'		'0'		'0'		'0'				

Рисунок 30 – Запрос команды «запросить адреса репитера»

Ответ: дублирует код команды и передает 0 в полях 4–5, 6–7, 8–9 (рисунок 31).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	41	30	30	30	30	30	30	31	35	0x0D	0x0A
		'Z'		0		0		0		CRC		

Рисунок 31 – Ответ на запрос команды «запросить адреса репитера»

Следующий запрос – не ранее, чем через 1 секунду (рисунок 32).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	41	33	31	33	30	33	30	31	35	0x0D	0x0A
	'Z'		'1'		'0'		'0'					

Рисунок 32 – Запрос команды «запросить адреса репитера» для передачи полученных данных по RS-485

Ответ: дублирует код команды и передает (рисунок 33).

- амплитуду сигнала (значение от 0 до 255) – в битах 4, 5;
 - количество репитеров в группе (от 1 до 15) – в битах 6, 7;
 - текущий режим работы – в битах 8, 9:
- 1 – управление по RS-485;
2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	35	41	30	31	30	31	30	31	41	33	0x0D	0x0A
	'Z'		01 - Адрес группы		01 - Адрес Репитера		01 - Адрес Ресивера		CRC			

Рисунок 33 – Ответ на запрос команды «запросить адреса репитера» для передачи полученных данных по RS-485

6. Название – Установить адрес группы (рисунок 34).

Символ – G.

Команда предполагает, что в момент ее выполнения к линии подключен только один Репитер или Ресивер.

Запрос:

- группа = 0 (всегда) – в битах 4, 5;
- адрес = 0 (всегда) – в битах 6, 7;
- данные = номер группы (от 1 до 7) – в битах 8, 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	34	37	33	30	33	30	33	31	32	38	0x0D	0x0A
	'G'		'0'		'0'		'1'					

Рисунок 34 – Запрос команды «установить адрес группы»

Ответ: дублирует код команды и передает текущий режим работы (рисунок 35):

- 1 – управление по RS-485;
- 2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3A	34	37	30	31	42	38	0x0D	0x0A
	'G'		Режим		CRC			

Рисунок 35 – Ответ на запрос команды «установить адрес группы»

7. Название – Установить адрес репитера (рисунок 36).

Символ – А.

Пример:

Команда предполагает, что в момент ее выполнения к линии подключен только один Репитер.

Запрос:

- группа = 0 (всегда) – в битах 4, 5;
- адрес = 0 (всегда) – в битах 6, 7;
- данные = адрес Репитера (от 1 до 15) – в битах 8, 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3A	34	31	33	30	33	30	33	31	32	45	0x0D	0x0A
	'A'		'0'		'0'		'1'					

Рисунок 36 – Запрос команды «установить адрес репитера»

Ответ: дублирует код команды и передает текущий режим работы (рисунок 37):

- 1 – управление по RS-485;
- 2 – режим аналогового управления.



Рисунок 37 – Ответ на запрос команды «установить адрес репитера»

8. Название – установить адрес ресивера (рисунок 38).

Символ – S.

Пример:

Команда предполагает, что в момент ее выполнения к линии подключен только один Репитер или Ресивер.

Запрос:

- группа = 0 (всегда) – в битах 4, 5;
- адрес = 0 (всегда) – в битах 6, 7;
- данные = адрес Ресивера (от 1 до 15) – в битах 8, 9.

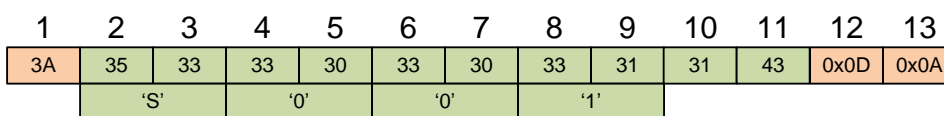


Рисунок 38 – Запрос команды «установить адрес ресивера»

Ответ: дублирует код команды и передает текущий режим работы (рисунок 39):

- 1 – управление по RS-485;
- 2 – режим аналогового управления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3A	35	33	30	31	41	43	0x0D	0x0A
		'A'		Режим		CRC		

Рисунок 39 – Ответ на запрос команды «установить адрес ресивера»

Вывод по разделу два

Был создан протокол обмена по питающей сети с учетом потребностей работы уличного освещения. В системе основными элементами являются:

Репитер – позволяет осуществлять двусторонний обмен по питающей сети.

Ресивер – служит для ретрансляции сообщения в линии и управления источником света.

Мастер – микроконтроллер. Позволяет осуществлять двусторонний обмен по питающей сети. А также служит для обмена по интерфейсу RS-485.

Подробно расписаны команды управления освещением, приведены примеры посылки.

3 Расчет линии связи

Для расчета линии связи системы освещения была выбрана газоразрядная лампа HWL 500W E40 220–230V OSRAM ДРВ 4008321001894 (рисунок 40) со следующими характеристиками (таблица 5).



Рисунок 40 – Внешний вид газоразрядной лампы

Таблица 5 – Характеристики лампы HWL 500W E40 220–230V OSRAM

Параметр	Значение
Мощность	500 Вт
Цоколь	E40
Напряжение	220–230 В
Наполнитель колбы	Смесь аргона с азотом
Наполнитель горелки	Пары ртути

Первым делом при проектировании необходимо выяснить, какой нагрузкой на сети будет обладать будущий объект. Для этого сначала необходимо выполнить расчет суммарной мощности всех осветительных приборов, исходя из которых можно определить необходимые сечения проводов и потери напряжения [37–40].

Схема расположения ресиверов находится в приложении В.

Перед этим нужно определить мощности всех ламп в сети. Расчет производится по следующей формуле [41–45]:

$$M_{л} = M_{с} \cdot K_{л}, \quad (3)$$

где $M_{л}$ – мощность всех ламп в сети, Вт;

$M_{с}$ – мощность одной лампы, Вт;

$K_{л}$ – количество ламп, шт.

Получаем значение:

$$M_{л} = 500 \cdot 15 \cdot 7 = 52,5 \text{ кВт.}$$

Полученный по предыдущей формуле результат в дальнейшем используется для определения расчетных нагрузок осветительной линии.

Расчет выполняется по формуле:

$$P_{н} = M_{л} \cdot K_{спр} \cdot K_{п}, \quad (4)$$

где $M_{л}$ – мощность всех ламп в сети, Вт;

$K_{спр}$ – коэффициент спроса, отображающий, как часто используется осветительное электрооборудование. Он служит в качестве поправки, обязательно вносимой в расчеты. Данный коэффициент определяется эмпирическим путем и из [46] равен 1;

$K_{п}$ – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре ламп (Для ртутных газоразрядных ламп он составляет 1,1, для люминесцентных – 1,2 [47]).

$$P_{н} = 52,5 \cdot 1 \cdot 1,1 = 57,75 \text{ кВт.}$$

Чтобы определить предельно допустимые сечения проводов, которые будут

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

использоваться в линиях, нужно рассчитать, какие токи будут по ним проходить [48–52]. Так, для однофазных линий, состоящих из двух проводов, расчет производится по формуле:

$$I = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_\phi \cdot \cos\varphi}, \quad (5)$$

где P_n – расчетная нагрузка линии, кВт;

U_ϕ – напряжение фазное, В;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки. Его принимают за единицу для сетей, оборудуемых обычными лампочками накаливания. В случае с люминесцентными лампами – 0,95 [53].

$$I = \frac{57,75 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,95} = 276,3 \text{ А.}$$

Возьмем 7 веток линии освещения по 15 светильников в каждой с интервалом 300 м.

Ток в каждой линии будет равен:

$$I_l = \frac{I}{7}, \quad (6)$$

где I – общий ток в 7 ветках.

$$I_l = \frac{276,3}{7} = 39,5 \text{ А.}$$

Выберем подходящее сечение алюминиевого провода согласно таблице [54].

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Таблица 6 – Зависимость сечения алюминиевого провода от тока

Сечение токопроводящих жил, мм ²	Алюминиевые жилы проводов и кабелей			
	Одножильный		Многожильный	
	На воздухе	В земле	На воздухе	В земле
2,5	22	30	21	28
4	30	39	29	37
6	37	48	37	44
10	50	63	50	59
16	68	82	67	77
25	92	106	87	102
35	113	127	106	123

Для тока 39,5 А подходит алюминиевый одножильный провод сечением 10 мм².

Управляющий и питающий сигнал ослабевают пропорционально [55–60], но так как у управляющего сигнала частота в разы больше (105 кГц у управляющего и 50 Гц у питающего) на него будет влиять индуктивность кабельной линии [61–63].

Рассчитаем потери напряжения в каждой ветке на активное сопротивление проводов.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (7)$$

где ρ – удельное сопротивление алюминия;

l – длина проводов одной ветки;

S – площадь сечения провода.

Длина провода в одной ветке равна 4500 м.

$$R = \frac{0,028 \cdot 4500}{10} = 12,6 \text{ Ом.}$$

Индуктивность провода определяется по следующей формуле.

$$L = 0,00508 \cdot a \cdot \left(\log \cdot 2 \frac{a}{d} \right) - 0,75, \quad (8)$$

где a – длина, м;

d – диаметр провода, мм.

Провод в данной системе имеет параметры $a=4500$, $d=3,57$.

$$L = 0,00508 \cdot a \cdot \left(\log \cdot 2 \frac{4500}{3,57} \right) - 0,75 = 3,1982 \cdot 10^{-5}.$$

Реактивное сопротивление рассчитывается как:

$$X = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L, \quad (9)$$

где f – частота сигнала, Гц;

L – индуктивность, Гн.

$$X = 2 \cdot \pi \cdot 10^5 \cdot 4500 = 20,1 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление линии будем рассчитывать по формуле

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad (10)$$

где R – активное сопротивление провода, Ом;

X – реактивное сопротивление провода, Ом.

$$Z = \sqrt{12,6^2 + 20,1^2} = 23,72 \text{ Ом.}$$

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Для нашей системы примем допустимый уровень сигнала 5–10% от исходного уровня. Коэффициент усиления репитеров составляет 16.

Вывод по разделу три

Полученные результаты означают, что через 900 м потери составят 90% от исходного сигнала, следовательно, в этой точке необходим репитер. После прохождения репитера сигнал усиливается в 16 раз. Через 940 м, когда потери составят 90% ставим второй репитер. Поскольку длина линии связи 4500 м, потребуется 4 репитера в линии для обеспечения связи между всеми светильниками. Схема расположения ресиверов и репитеров показана в приложении.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

4 Алгоритм восстановления принятого сигнала

4.1 Обоснование выбора алгоритма Герцеля

Алгоритм Герцеля позволяет эффективно рассчитывать фиксированные спектральные отсчеты ДПФ без необходимости рассчитывать все ДПФ. Далее приведены ряд преимуществ алгоритма Герцеля перед стандартным Быстрым преобразованием Фурье:

- объем памяти коэффициентов фильтра меньше, чем объем памяти поворачивающих множителей.

- не требуется накопление данных до начала вычисления (как в случае БПФ). Обработка может начинаться с приходом первого входного отсчета.

- алгоритм Герцеля не требует бит–реверсивной сортировки.

- если алгоритм Герцеля реализуется M раз для обнаружения M разных спектральных составляющих, то он более эффективен (требует меньше умножений), чем БПФ, при $M < \log_2 N$ [64–68].

Декодирование посылки в выбранном микроконтроллере STM32 происходит при помощи алгоритма Герцеля. Листинг программы реализации команд управления освещением приведен в приложении Ж.

Алгоритм Герцеля используется для расчета фиксированного набора спектральных отсчетов дискретного преобразования Фурье [69–74]. В нашем случае необходимо найти спектральные составляющие с частотами 94 117 Гц и 106 666 Гц.

4.2 Рекуррентное соотношение для расчета фиксированного спектрального отсчета сигнала

Выражение для N –точечного дискретного преобразования Фурье сигнала $s(n), n = 0 \dots N - 1$ имеет вид [75]:

										Лист
										61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot W_N^{n \cdot k}, \quad (11)$$

Поворотные коэффициенты $W_N^{n \cdot k}$ обладают следующим свойством:

$$W_N^{-k \cdot N} = \exp\left(j \frac{2\pi}{N} \cdot N \cdot n\right) = 1; k = 0 \dots N - 1 \quad (12)$$

Таким образом, умножение выражения (3) на $W_N^{-k \cdot N}$ не приведет к изменению результата:

$$S(k) = W_N^{-k \cdot N} \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot W_N^{n \cdot k} = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot W_N^{k \cdot (n-N)} \quad (13)$$

Распишем сумму (5):

$$S(k) = s(0) \cdot W_N^{-k \cdot N} + s(1) \cdot W_N^{-k \cdot (N-1)} + s(2) \cdot W_N^{-k \cdot (N-2)} + \dots + s(N-2) \times \\ \times W_N^{-k \cdot 2} + s(N-1) \cdot W_N^{-k} \quad (14)$$

Обозначим $S(k) = y_{N-1}(k)$ для фиксированного номера k спектрального отсчета ДПФ. Также вынесем в (6) $W_N^{-k \cdot N}$ за скобки и получим:

$$y_{N-1}(k) = W_N^{-k} \cdot \left(s(N-1) + W_N^{-k} \cdot s(N-2) + \dots + s(0) \cdot W_N^{-k \cdot (N-1)} \right) \quad (15)$$

Для удобства заменим $W_N^{-k} \cdot s(N-2) + \dots + s(0) \cdot W_N^{-k \cdot (N-1)} = y_{N-2}(k)$ и получим:

$$y_{N-1}(k) = W_N^{-k} \cdot (s(N-1) + y_{N-2}(k)) \quad (16)$$

						15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			62

Выразим $y_{N-2}(k)$ через $y_{N-3}(k)$. Для этого снова вынесем W_N^{-k} за скобки и получим:

$$\begin{aligned} y_{N-2}(k) &= W_N^{-k} \cdot s(N-2) + W_N^{-2 \cdot k} \cdot s(N-3) + \dots + s(0) \cdot W_N^{-k \cdot (N-1)} \\ &= W_N^{-k} \cdot (s(N-2) + W_N^{-k} \cdot s(N-3) + y_{N-2}(k) + \dots \\ &\quad + s(0) \cdot W_N^{-k \cdot (N-2)}). \end{aligned} \quad (17)$$

Выражение $W_N^{-k} \cdot s(N-3) + y_{N-2}(k) \dots + s(0) \cdot W_N^{-k \cdot (N-2)}$ опять можем записать как $y_{N-3}(k)$.

Таким образом, мы получили рекуррентное соотношение для вычисления $y_r(k)$ на любом шаге $r = 0 \dots N-1$ через $y_{r-1}(k)$, [76] полученных на предыдущем шаге для фиксированного номер спектрального отсчета k :

$$y_r(k) = W_N^{-k} \cdot (s(r) + y_{r-1}(k)), \quad (18)$$

где $s(r)$ – отсчет входного сигнала с номером r .

Данное рекуррентное соотношение на шаге с номером $r = N-1$ приводит нас к $S(k) = y_{N-1}(k)$, т.е. на $N-1$ шаге получим спектральный отсчет с номером k .

Проанализировав (10), обратим внимание, что рекуррентное соотношение можно трактовать как разностное уравнение БИХ-фильтра первого порядка с комплексным коэффициентом W_N^{-k} , структурная схема которого приведена на рисунке 44 [77].

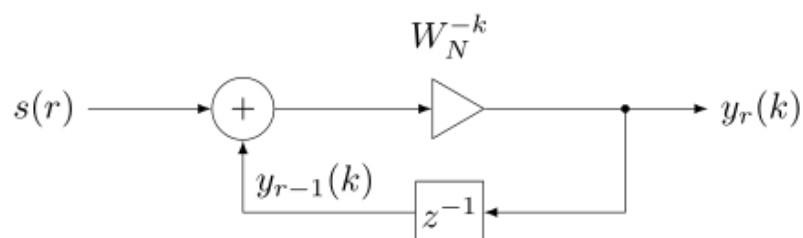


Рисунок 41 – Структурная схема БИХ-фильтра, реализующего расчет спектрального отсчета с номером k

Обозначим через $X(z)$ и $Y(z)$ z -образы $x(r)$ и $y_r(k)$ соответственно. Тогда $z^{-1} \cdot Y(z)$ – это z -образ $y_{r-1}(k)$, и разностное уравнение (10) в операторном виде равно [78–79]:

$$Y(z) = W_N^{-k} \cdot (X(z) + z^{-1} \cdot Y(z)). \quad (19)$$

Передаточная характеристика полученного БИХ-фильтра имеет вид:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{W_N^{-k}}{1 - W_N^{-k} \cdot z^{-1}}. \quad (20)$$

Таким образом, мы зафиксировали номер спектрального отсчета k и преобразовали выражение ДПФ для одного фиксированного спектрального отсчета к рекуррентному соотношению, которое позволяет нам на шаге $N - 1$ получить значение искомого k -го спектрального отсчета $S(k)$. При этом все промежуточные значения рекуррентного соотношения нас не интересуют, а интересует только $y_{N-1}(k) = S(k)$.

Затем мы трактовали рекуррентное соотношение как разностное уравнение БИХ-фильтра с передаточной характеристикой (12). В результате мы получили фильтр первого порядка с комплексным коэффициентом W_N^{-k} применение которого на $N - 1$ –ой итерации на выходе дает $S(k)$. При фиксированном k значение комплексного коэффициента W_N^{-k} всегда постоянно.

4.3 Алгоритм Герцеля

Для вычисления одного спектрального отсчета $S(k)$ при использовании БИХ-фильтра требуется N комплексных умножений и сложений, что не дает никаких преимуществ по сравнению с прямым вычислением ДПФ, согласно выражению (3) [80–82].

						15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			64

Однако сокращение вычислений можно получить, если домножить числитель и знаменатель передаточной характеристики БИХ-фильтра (12) на $1 - W_N^{-k} \cdot z^{-1}$:

$$\begin{aligned}
 H(z) &= \frac{W_N^{-k}}{1 - W_N^{-k} \cdot z^{-1}} = \frac{W_N^{-k} \cdot (1 - W_N^{-k} \cdot z^{-1})}{(1 - W_N^{-k} \cdot z^{-1}) \cdot (1 - W_N^k \cdot z^{-1})} = \\
 &= \frac{W_N^{-k} - z^{-1}}{1 - z^{-1} \cdot (W_N^{-k} + W_N^k) + z^{-2}}.
 \end{aligned} \tag{21}$$

Рассмотрим более подробно сумму:

$$W_N^{-k} + W_N^k = \exp\left(j \frac{2\pi}{N} \cdot k\right) + \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} \cdot k\right) = 2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N} \cdot k\right). \tag{22}$$

Тогда (13) с учетом (14) можно представить следующим образом:

$$H(z) = \frac{W_N^{-k} \cdot z^{-1}}{1 - 2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N} \cdot k\right) \cdot z^{-1} + z^{-2}}. \tag{23}$$

Передаточная характеристика соответствует БИХ-фильтру второго порядка, структурная схема которого показана на рисунке 45 [83], где $\alpha =$

$$2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N} \cdot k\right)$$

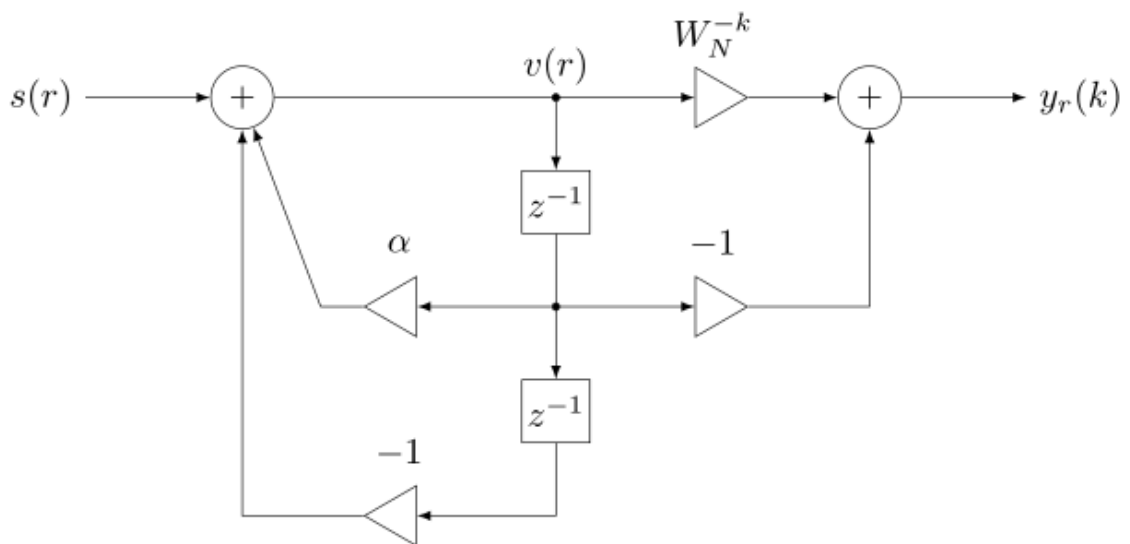


Рисунок 42 – Структурная схема БИХ-фильтра реализующего расчет спектрального отсчета с номером k

Обратим внимание, что $\alpha = 2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N} \cdot k\right)$ – вещественный коэффициент, соответственно умножения в рекурсивной ветви фильтра стали вещественными, причем умножения на -1 можно не учитывать. У нас остался один комплексный коэффициент W_N^{-k} в числителе передаточной характеристики. Но мы выяснили, что промежуточные значения $y_r(k)$, нам неважны, соответственно умножать на W_N^{-k} можно только на $N - 1$ итерации, когда рассчитывается непосредственно $S(k)$.

Таким образом, применение фильтра второго порядка позволяет рассчитать $S(k)$ для фиксированного k с использованием N умножений, но не комплексных, а вещественных. Также требуется одно комплексное умножение на W_N^{-k} на последней итерации.

Таким образом, спектральный отсчет $S(k)$ равен:

$$S(k) = y_{N-1}(k) = W_N^{-k} \cdot \vartheta(N - 1) - \vartheta(N - 2), \quad (24)$$

где $\vartheta(r)$ – промежуточные значения, которые рассчитываются итерационно:

$$\vartheta(r) = s(r) + 2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N} \cdot k\right) \cdot \vartheta(r - 1) - \vartheta(r - 2). \quad (25)$$

Рекурсивная часть должна выполняться N раз. Блок–схема получения одного спектрального отсчета приведена в приложении.

Вывод по разделу четыре

Алгоритм Герцеля эффективно используется для определения заданной частоты. В отличие от дискретного преобразования Фурье, которое требует большого времени и вычислительных ресурсов, алгоритм Герцеля позволяет вычислять значение частотного компонента за N+2 умножений, 2N+1 сложений при обработке вещественного сигнала.

										Лист
										67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была разработана интеллектуальная система управления уличным освещением по питающей сети. Благодаря анализу существующих решений в данной отрасли были выявлены основные требования к разработке. Система содержит двустороннюю связь для передачи команд и мониторинга неисправностей, не зависит от производителей конкретного оборудования/ Управление возможно при помощи распространенного интерфейса RS-485 с АРМ и аналогового сигнала 0–10 В. Благодаря возможности диммирования светильника и диагностике линии создается значительный экономический эффект данной системы. Был проведен расчет линии связи с рекомендацией по выбору кабеля и расположением устройств. Подробно расписан математический аппарат алгоритма Герцеля, который использует микроконтроллер для определения частоты посылок.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гавриленко, В.Ю. Разработка и применение рационального уличного освещения / В.Ю. Гавриленко // Таврический научный обозреватель.– Ялта: Изд-во Межрегиональный институт развития территорий, 2016. – Вып. 5.– С. 364–366.
2. Вставская, Е.В. Способ передачи информации по питающей сети и его применение в построении систем автоматизированного управления наружным освещением / Е.В. Вставская, Е.В. Костарев // Вестник ЮУрГУ. Серия компьютерные технологии, управление и радиотехника». – 2011. – Вып. 13. – №2. – С. 82–84.
3. Сивагина, Ю.А. Обзор современных симплексных ретрансляторов радиосигналов / Ю.А. Сивагина, И.Д. Граб, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. Т. 1. – С. 281–282.
4. Gagliardo, P. Take advantage of power line communications in nextgen home networking & IPTV designs / P. Gagliardo – <http://www.commsdesign.com/article/printableArticle.jhtml?articleID=217300850>.
5. WiMAX's technology for LOS and NLOS environments // WIMAX forum. – <http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>.
6. X-10 Communications Protocol and Power Line Interface PSC04&PSC05. – <ftp://ftp.x10.com/pub/manuals/technicalnote.pdf>.
7. www.x10pro.com.
8. PRIME Alliance. PRIME Alliance home page. – <http://www.prime-alliance.org>.
9. www.smarthomeusa.com/info/x10theory.
10. www.adaptivenetworks.com.
11. FT 5000 Smart Transceivers/Neuron® 5000 Technical Overview. – <http://www.echelon.com>.
12. Зотин, О. Технологии автоматизации в энергоресурсосберегающих сетях освещения / О. Зотин // Современные технологии автоматизации. – 2012. – № 4.

										Лист
										69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

13. Зотин, О. Управление городским освещением. От ретроспективы к перспективе. Часть 2. Управление электрическим светом / О. Зотин // Control Engineering Россия. – 2015. – № 5.

14. Родионов, В.Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего / В.Г. Родионов. – Москва: ЭНАС, 2010. – 348 с.

15. Германович, В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение: практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В. Германович, А. Турилин. – Санкт–Петербург: Наука и Техника, 2014. – 317 с.

16. Эннс, О. Интеллектуальные системы уличного освещения / О. Эннс // Энергосбережение – 2008. – №1. – С. 58–62.

17. Алексеев, Е.Г. Современный этап развития экспертных систем / Е.Г. Алексеев // Всб: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники и энергетики – мат–лы XII Всеросс. науч.–техн. конф. с междунар. участ. – Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, 2016. – С. 257–261.

18. Шиков, С.А. Проектирование и разработка системы интеллектуального управления освещением / С.А. Шиков, Е.Г. Алексеев // Всб: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники и энергетики – мат–лы XII всеросс. науч.–техн. конф. с междунар. участ. – Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, 2015. – С 113–116.

19. Шилин, А.Н. Интеллектуальная информационная система поддержки проектирования оптико–электронных устройств / А.Н. Шилин, И.А. Коптелова // Двенадцатая межвузовская научно–практическая конференция молодых ученых и студентов: тезисы докладов – Волжский филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2006. – Т. 4. – С. 35–37.

20. Шилин, А.Н. Интеллектуализация процесса проектирования информационно–управляющих систем / А.Н. Шилин, И.А. Коптелова // Международная конференция «Информационные технологии в образовании, технике и медицине»: материалы – ВолгГТУ, Волгоград, 2006. – С. 190–191.

										Лист
										70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.04.04.2019.229 ПЗ

21. Padellini, M. Very low bit rate (VLBR) speech coding around 500 bits/sec. Thales Communications / M. Padellini, F. Capman, G. Baudoin // Telecommunications Systems LaboratoryBP, 2001 – P. 30–41.

22. Zimmermann, M. An analysis of the broadband noise scenario in powerline networks / M. Zimmermann, K. Dostert // International Symposium on Powerline Communications and its Applications (ISPLC2000), Limerick, Ireland, April 5–7, 2000.

23. Halid, H. Broadband Powerline Communications / H. Halid, H. Abdelfatteh – England: John Wiley & Sons Ltd, 2004. – 103 p.

24. Philipps, H. Development of a statistical model for powerline communications channels, Proceedings of the 4th / H. Philipps // International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC) Limerick, Ireland, April 5–7, 2000.

25. Zimmermann, M. A multipath model for the powerline channel / M. Zimmermann, K. Dostert // IEEE Transactions on Communications, 50(4), 2002. – P. 553–557.

26. Trout, J. Positioning – The Battle For Your Mind / J. Trout, A. Ries // International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC) Limerick, Ireland, April 5–7, 2000.

27. Molony, R. LED inventor bets on lasers to replace LEDs / R. Molony // Lux Review, 2016.

28. Павловский А. PLC в России. Специфика, проблемы, решения, проекты / А. Павловский, С. Соломасов // Изд-во ИнформКурьерСвязь, 2009. – 220 с.

29. Gonzalez-Prelcic, N. A Channel Model for the Galician Low Voltage Mains Network / N. Gonzalez-Prelcic // Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2001 IEEE International Symposium on. 2001. – 365–370 p.

30. Попова, М. Интеллектуальная автоматизированная система управления наружным освещением LT CITYLIGHT / М. Попова // Современная светотехника. – 2016. – №1

31. http://www.stadis.pro/product/system_of_intellectual_control_lighting

32. <https://www.energokrug.ru/resheniya/asu-no/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-naruzhnym-osveshcheniem-na-baze-svetodiodnykh-svetilnikov-s-primeneniem-tekhnologii-svyazi-plc.html>

						15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			71

33. http://galad.ru/upload/iblock/76c/sovr_gor_2018_web.pdf
34. https://www.rusest.com/katalog/sistemy_upravleniya_osveshcheniem/avtomatizirovannaya_sistema_upravleniya_osveshcheniem_merkuriy/
35. <http://www.norvix.ru/services/asuno/>
36. <http://www.sundrax.ru/solutions/street-lighting/>
37. Электрическое освещение: основы проектирования: учебное пособие / сост. Г.П. Колесник. – Владимир: Изд. Владим. гос. ун-та, 2006. – 126 с.
38. Электротехнический справочник / под ред. И.Н. Орлова – М.: Энергоиздат, 1982. – 560 с.
39. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
40. Лебедева, С.И. Инженерные методы расчета светотехнических параметров осветительных установок / С.И. Лебедева . – М.: Москов. энерг. ин-т, 1984. – 180 с.
41. Колесник, Г.П. Электрическое освещение : учеб. пособие / Г.П. Колесник. – Владимир : Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2002. – 98 с.
42. Фугенфиров, М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами / М.И. Фугенфиров. – М. : Энергия, 1974. – 368 с.
43. Гуторов, М.М. Основы светотехники и источники света: учеб. пособие для вузов / М.М. Гуторов. – 2-е изд. – М.: Энергоиздат, 1983. – 384 с.
44. Велоцкий, Н.В. Освещение открытых пространств / Н.В. Велоцкий, М.С. Дадиомов, Л.Д. Николаева. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
45. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник. 5-е издание, переработанное и дополненное / Под редакцией Н.И. Белоруссова,. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
46. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. / под ред. Ю.Т. Ларина. – Изд-во ООО «Престиж», 2007. – 321 с.
47. Справочник «Кабели, провода и шнуры». / сост. Б.И. Попов – Изд-во ВНИИКП, 2002.
48. Кабельные изделия. Справочник. / сост. И.И. Алиев, – издание 2-е, 2004.

					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

49. Кабели, провода и материалы для кабельной индустрии: Технический справочник. / Сост. В.Ю. Кузнев – М.: Издательство "НефКабельные изделия. Справочник и газ", 1999. – 57 с.

50. РД 34.20.185 – 94. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 48 с.

51. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г.М. Кнорринга. – М. : Энергия, 1976. – 384 с.

52. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, Н. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб.: Энергоиздат, 1992. – 384 с.

53. Методические указания к расчетно–лабораторным работам по дисциплине «Электрическое освещение» / Владим. гос. ун–т.; сост. : Г.П. Колесник, О.Д. Бухарова. – Владимир, 2001. – 45 с.

54. Белоруссов, Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры : справочник / Н. И. Белоруссов. – 5–е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1988. – 536 с.

55. Варфоломеев, Л.П. Элементарная светотехника./ Л.П. Варфоломеев – Москва, 2013. – 288 с..

56. Справочная книга по светотехнике / Под общ. ред. проф. Ю.Б. Айзенберга. 3–е изд., перераб. и доп. — М.: Знак, 2007.

57. Разрядные источники света. Рохлин Г.Н. 2–е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат 1991. – 720 с.

58. Международный светотехнический словарь. – 3–е изд. М.: Русский язык, 1979.

59. Савина, Н.В. Влияние электромагнитных помех, вызванных короткими замыканиями, на качество информации в системах диспетчерского и технологического управления / Н. В. Савина, Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова // Вестник Амурского государственного университета. – 2012. – Вып. 59: Сер. Естеств. и экон. науки. – С. 79–85.

60. Кравченко, В.И, Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В.И. Кравченко, Е.А. Болотов, Н.И. Летунова. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.

										Лист
										73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.04.2019.229 ПЗ					

Листинг программы. Реализация команд управления освещением

```
if(StateMessage == 0)
{
    Grup = (Message & 0x1C000000) >> 26;
    Addr = (Message & 0x3C000000) >> 22;
    Resp = (Message & 0x2000000) >> 21;
    Comm = (Message & 0x1C00000) >> 18;
    Data = (Message & 0x3C000) >> 14;
    Repe = (Message & 0x3C00) >> 10;
    switch(Comm)
    {
        case 1: // óñðàííâèòü ýðêîñòü
            if((Addr == RecAddress || Addr == 0) && (Grup ==
GrAddress || Grup == 0))
                switch(Data)
                {
                    case 0: htim1.Instance->CCR2 = 750; break;
                    case 1: htim1.Instance->CCR2 = 712; break;
                    case 2: htim1.Instance->CCR2 = 675; break;
                    case 3: htim1.Instance->CCR2 = 637; break;
                    case 4: htim1.Instance->CCR2 = 600; break;
                    case 5: htim1.Instance->CCR2 = 562; break;
                    case 6: htim1.Instance->CCR2 = 525; break;
                    case 7: htim1.Instance->CCR2 = 487; break;
                    case 8: htim1.Instance->CCR2 = 450; break;
                    case 9: htim1.Instance->CCR2 = 412; break;
                    case 10: htim1.Instance->CCR2 = 375; break;
                    case 11: htim1.Instance->CCR2 = 300; break;
                    case 12: htim1.Instance->CCR2 = 225; break;
                    case 13: htim1.Instance->CCR2 = 150; break;
                    case 14: htim1.Instance->CCR2 = 75; break;
                    case 15: htim1.Instance->CCR2 = 0; break;
                }
                break;
        case 2:
            break;
        case 4:
            break;
        case 5:
            if(Addr != 0) break;
            if(Grup != 0) break;
            if(Data == 0) break;
            if(Repe != 0) break;
            RecAddress = Data;
            WriteMemory(0xFF, RecAddress, GrAddress, pwm);
            /*HAL_FLASH_Unlock();
            HAL_FLASHEx_Erase(&EraseInitStruct, &PageError);
            HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD,
Address, 0xFF);
            HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD,
```

```

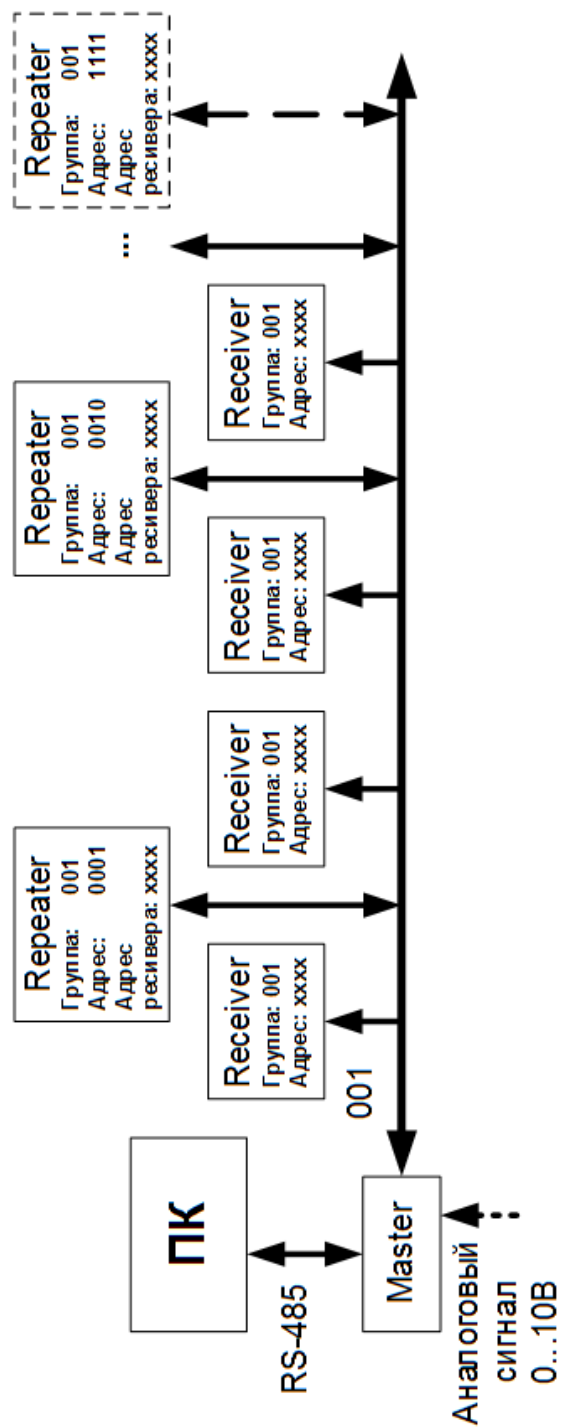
Address+4, Data);
        HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD,
Address+8, GrAddress);
        HAL_FLASH_Lock();*/
        //RecAddress = Data;
        break;
    case 6:
        if(Addr != 0) break;
        if(Grup != 0) break;
        if(Data == 0) break;
        if(Repe != 0) break;
        GrAddress = Data;
        WriteMemory(0xFF, RecAddress, GrAddress, pwm);
        /*
        HAL_FLASH_Unlock();
        HAL_FLASHEx_Erase(&EraseInitStruct, &PageError);
        HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD,
Address, 0xFF);
        HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD,
Address+4, RecAddress);
        HAL_FLASH_Program(FLASH_TYPEPROGRAM_WORD,
Address+8, Data);
        HAL_FLASH_Lock();*/
        // GrAddress = Data;
        break;
    case 7:
        temp_pwm = pwm;
        if((Addr == RecAddress || Addr == 0) && (Grup ==
GrAddress || Grup == 0))
            switch(Data)
            {
                case 0:    pwm = 750; break;
                case 1:    pwm = 712; break;
                case 2:    pwm = 675; break;
                case 3:    pwm = 637; break;
                case 4:    pwm = 600; break;
                case 5:    pwm = 562; break;
                case 6:    pwm = 525; break;
                case 7:    pwm = 487; break;
                case 8:    pwm = 450; break;
                case 9:    pwm = 412; break;
                case 10:   pwm = 375; break;
                case 11:   pwm = 300; break;
                case 12:   pwm = 225; break;
                case 13:   pwm = 150; break;
                case 14:   pwm = 75; break;
                case 15:   pwm = 0; break;
            }
        if(pwm != temp_pwm)
        {
            htim1.Instance->CCR2 = pwm;

```

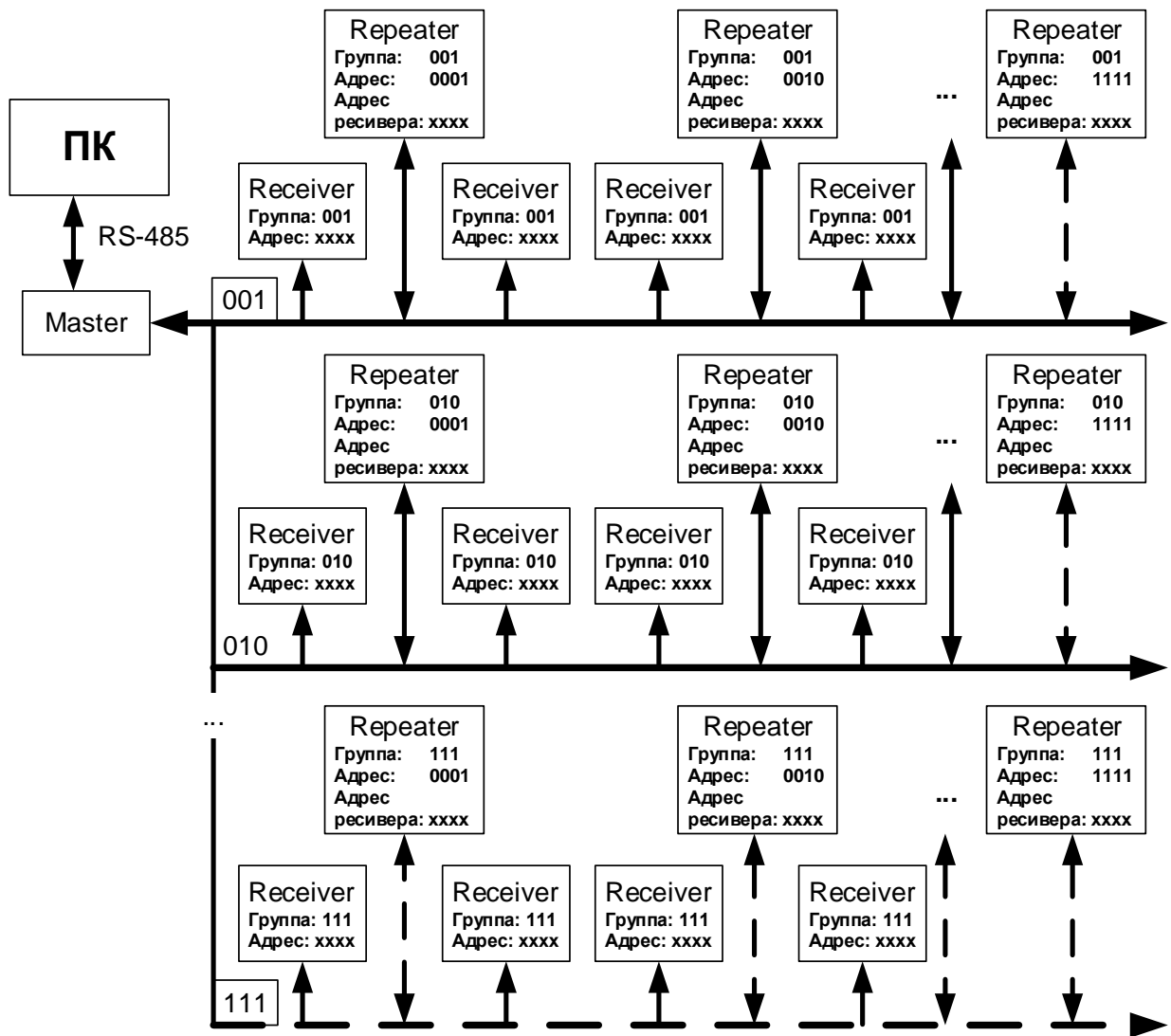
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

```
WriteMemory(0xFF, RecAddress, GrAddress,
pwm);
    }
    break;
}
}
StateMessage = 0;
Message = 0;
testInd = 0;
}
}
if(print==1) print = 0;
}
if(ledCount >= 6000)
{
    ledCount = 6000;
    if(Migat > 50)
    {
        Migat = 0;
        ledState = ledState ^ 0x01;
        if(ledState & 0x01)
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET);
        else
            HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_RESET);
    }
} else if(ledState == 0) {
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET);
    ledState = 1;
}
/* USER CODE END WHILE */
```

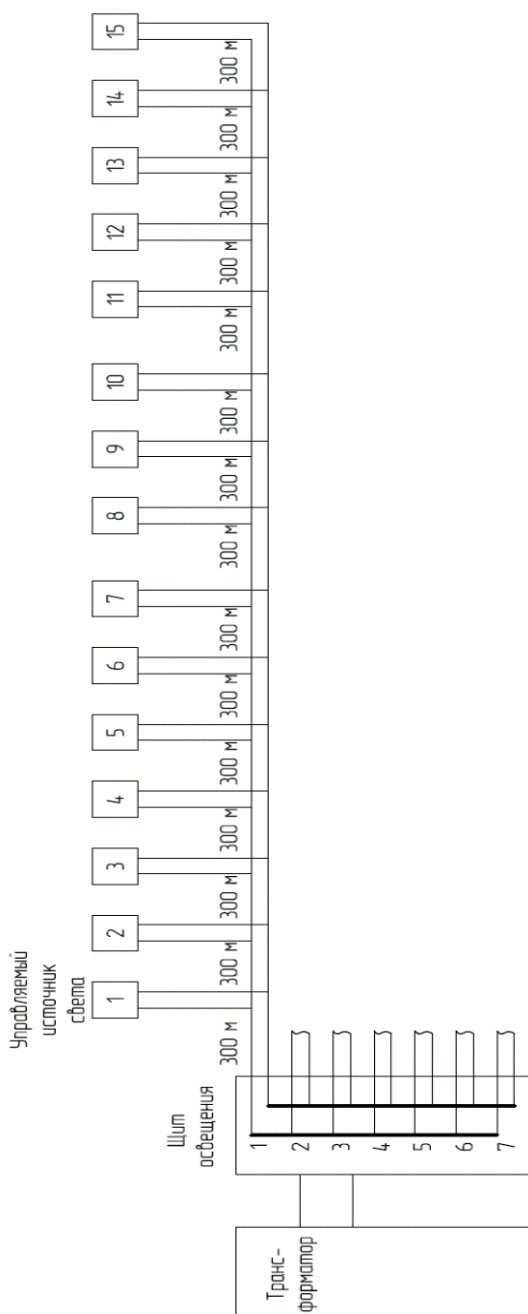
					15.04.04.2019.229 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84



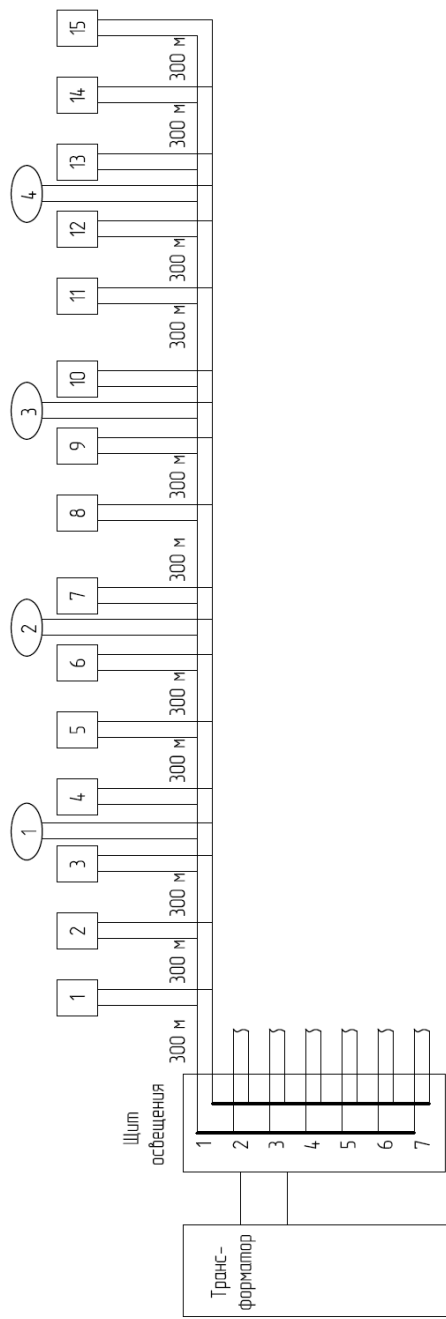
					15.04.04.2019.229.C1			
					Линейная система связи. Схема структурная комплекса технических средств			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				Лит.
Разраб.		Сундетбаева			Д			
Провер.		Встаевская						
					Лист	76	Листов	84
Н. Контр.		Барбасова			ЮургУ Кафедра АуУ			
Утв.		Казаринов						



					15.04.04.2019.229.C1		
					Разветвленная система связи. Схема структурная комплекса технических средств		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.		Сундетбаева			Д		
Провер.		Встаевская					
					Лист 77		Листов 84
					ЮУрГУ Кафедра АиУ		
Н. Контр.		Барбасова					
Утв.		Казаринов					



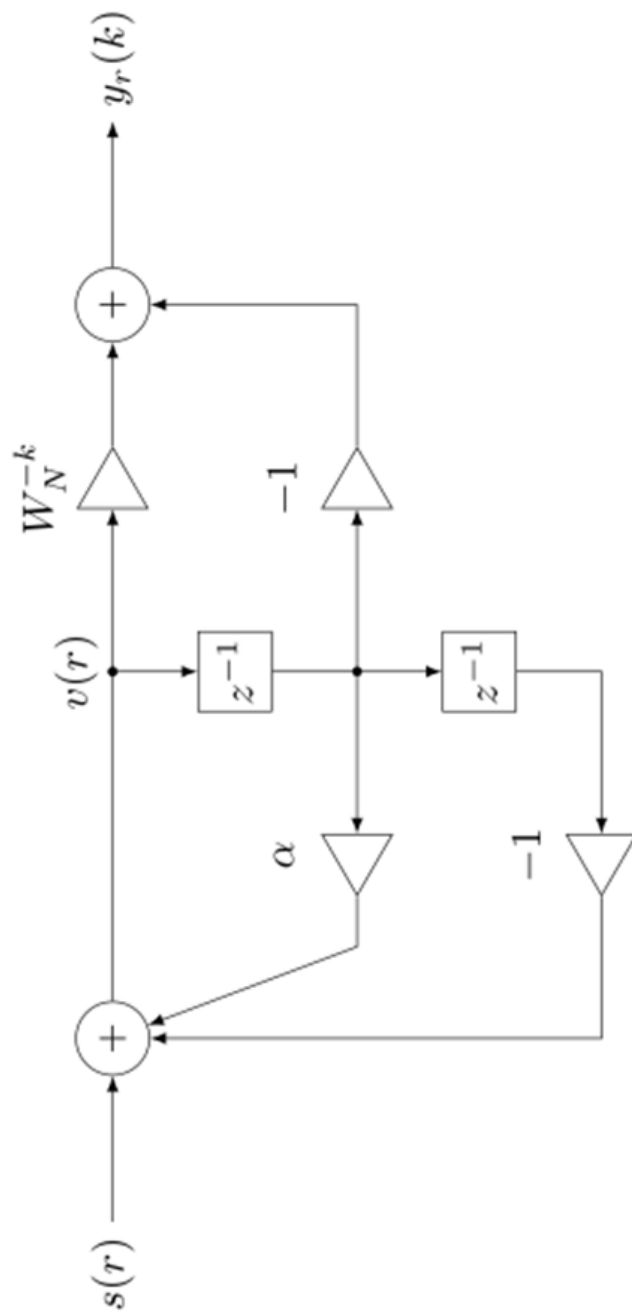
					15.04.04.2019.229.C7			
					Схема расположения оборудования (без репитеров)	Лит.	Масса	Масштаб
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		Д		
<i>Разраб.</i>		<i>Сундетбаева</i>						
<i>Провер.</i>		<i>Встаевская</i>			<i>Лист 78</i>		<i>Листов 84</i>	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Барбасова</i>			ЮургУ Кафедра АиУ			
<i>Утв.</i>		<i>Казаринов</i>						



1 - ресивер
 1 - репитер

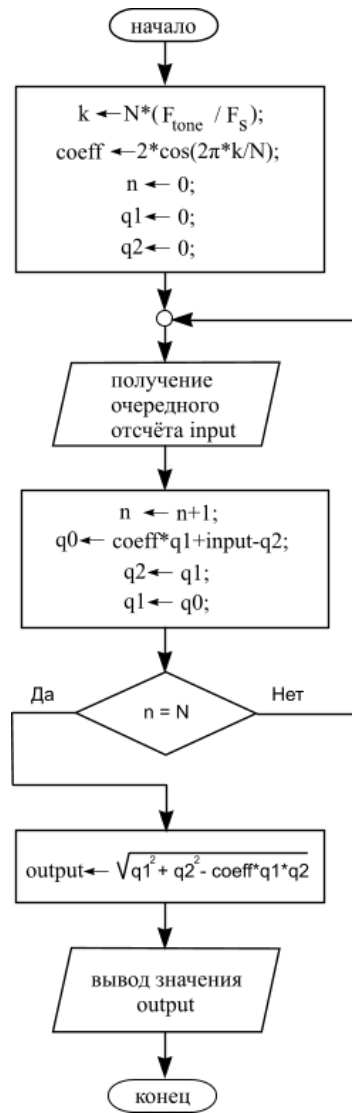
15.04.04.2019.229.C7

					15.04.04.2019.229.C7			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема расположения оборудования (с репитерами)	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Сундетбаева				Д		
Провер.		Встаевская						
						Лист 79	Листов 84	
Н. Контр.		Барбасова			ЮургУ Кафедра АиУ			
Утв.		Казаринов						



15.04.04.2019.229.C2

					15.04.04.2019.229.C2			
					БИХ-фильтр реализующий расчет спектрального отсчета с номером k. Схема функциональной структуры	Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Д		
Разраб.	Сундетбаева							
Провер.	Встаевская							
						Лист 80	Листов 84	
Н. Контр.	Барбасова				ЮургУ Кафедра АиУ			
Утв.	Казаринов							



На схеме F_{tone} – искомый спектральный отсчет;
 F_s – частота получения подборок;
 N – количество элементов в выборке;
 n – номер текущего элемента;
 $Input$ – очередной входной элемент выборки (с номером n);
 q_1 – первый элемент задержки;
 q_2 – второй элемент задержки;
 q_0 – текущее значение на выходе рекурсивной ветви.

					15.04.04.2019.229.ПБ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Нахождения одного спектрального отсчета. Описание алгоритма	Лит.	Масса	Масштаб			
Разраб.		Сундетбаева				Д					
Провер.		Встаевская									
Н. Контр.		Барбасова				Лист	81	Листов	84		
Утв.		Казаринов				ЮУрГУ Кафедра АиУ					