

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ  
ПОЖАРНОЙ, ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ

**БЕЗОПАСНОСТЬ  
В ТЕХНОСФЕРЕ**

*Сборник статей*

*Выпуск 14*



Ижевск  
2021

УДК 351.86(063)

ББК 68.9я43

Б 40

Рекомендовано к изданию  
редакционно-издательским советом УдГУ

*Научный редактор:* д.т.н., проф. В. М. Колодкин

*Председатель организационного комитета:*

Президент международной ассоциации специалистов пожарной,  
промышленной и экологической безопасности, доктор технических  
наук, профессор А. Б. Сивенков

Б 40 **Безопасность в техносфере:** сборник статей / науч.  
ред. В. М. Колодкин. – Ижевск: Издательский центр  
«Удмуртский университет», 2021. – 106 с.

ISBN 978-5-4312-0910-9

Данный сборник, в основном, соответствует материалам, представленным на XIV Международной конференции «Безопасность в техносфере». Главная тема конференции – Цифровая трансформация систем обеспечения безопасности.

Рассмотрены вопросы интеграции цифровых систем, таких как системы пожарно-охранной сигнализации, системы контроля и управления доступом, системы охранного телевидения и т.д.

Выделен раздел по технологии распределенного реестра. Интерес к этой технологии обусловлен поиском области применения технологии распределенного реестра к проблемам обеспечения безопасности.

В статьях раскрываются принципы организации цифровых систем, вопросы создания математического, алгоритмического и программного обеспечения. Содержание статей дает системное представление о современных проблемах безопасности в техносфере, в том числе, – пожарной безопасности, и способах их решения.

ISBN 978-5-4312-0910-9    УДК 351.86(063)  
ББК 68.9я43

© Международная ассоциация специалистов  
пожарной, промышленной и экологической  
безопасности, 2021

© ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный  
университет», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.Б. Сивенков</i>	
О создании международной ассоциации специалистов пожарной, промышленной и экологической безопасности . . . . .	5
<b>I Цифровая трансформация систем обеспечения безопасности . . . . .</b>	<b>12</b>
<i>В.М. Колодкин, С.М. Копелев</i>	
Направления модернизации технических средств системы обеспечения безопасности общественных зданий . . . . .	13
<i>А.О. Степанов</i>	
Покрытие сложного площадного маршрута беспилотным воздушным судном . . . . .	17
<i>А.Н. Александрович</i>	
Концептуальное использование технологий промышленного Интернета Вещей для оценки рисков на предприятиях . . . . .	23
<i>Б.В. Чирков, Д.Н. Чернов</i>	
Создание цифровой модели здания в Inkscape . . . . .	32
<i>А.Д. Шажиров</i>	
Система сбора данных с аналоговых узлов через линию питания постоянного тока . . . . .	37
<b>II Техносферная безопасность . . . . .</b>	<b>46</b>
<i>С.М. Копелев</i>	
Применение домофонных систем для оповещения и информирования населения . . . . .	47
<i>В.М. Колодкин, А.В. Радикова</i>	
Оценка последствий террористического акта на объекте топливно-энергетического комплекса . . . . .	57
<i>Д.М. Варламова, М.Э. Галиуллин</i>	
Веб-приложение по расчету категорий помещений по пожарной опасности . . . . .	65
<i>А.В. Михайлова, Б.В. Чирков</i>	
Разработка комплекса программ для автоматизации работы с CFAST . . . . .	69
<i>О.А. Мокроусова, А.Ю. Моисеенко</i>	
Требования пожарной безопасности при проектировании и строительстве высотных зданий . . . . .	75
<i>Д.Т. Хынг, А.Я. Васин, А.Н. Шушпанов, Г.Г. Гаджиев</i>	
Термическое разложение теризидона . . . . .	80

<b>III Технологии распределенного реестра в обеспечении безопасности</b> . . . . .	87
<i>И.А. Берман, В.Н. Манаенко, С.Н. Лоншаков, А.А. Капитонов</i>	
Мониторинг окружающей среды с помощью датчиков автономных морских судов и технологии распределенного реестра . . . . .	88
<i>Д.В. Варламов, М.Э. Галиуллин, П.Г. Огородников, Б.В. Чирков</i>	
Токенизация активов в публичном блокчейне на примере баллов лояльности . . . . .	99

УДК 621.372.2, 621.391, 621.398

## СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ С АНАЛОГОВЫХ УЗЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНИЮ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*А.Д. Шакиров*

Удмуртский Государственный Университет, г. Ижевск, Россия

e-mail: [artdmshakirov@gmail.com](mailto:artdmshakirov@gmail.com)

*Рассматривается разработка узлов для линии постоянного тока. Экспериментальная установка состоит из узлов сбора данных с минимальными функциональными возможностями отслеживания одного фактора окружающей среды на превышение порогового значения, узлов микроконтроллера и источника питания. Гармонические сигналы 60-90 кГц узлов с датчиками одновременно подаются на линию и снимаются оттуда через разделительные конденсаторы, а постоянный ток – через индуктивности. Для распознавания сигналов в экспериментальной установке используется алгоритм Герцеля [1]. Примеры применения разработки: в тепличных хозяйствах, личных подсобных хозяйствах и теплотрассах для обнаружения аварийных ситуаций и повышенного влияния негативных факторов.*

**Ключевые слова:** связь по ЛЭП, постоянный ток, телеметрия, аналоговый сигнал, датчики, цифровая обработка сигнала, алгоритм Герцеля

### Введение

Сбор данных о физических показателях среды на больших территориях возможен по радиоканалу [2] и проводному каналу. Проводные системы могут передавать данные как через обособленные линии, так и по линиям электроснабжения [3, 4]. Даже на не очень больших дистанциях затраты на многожильный кабель могут превышать стоимость всей остальной системы – при таких условиях осуществление передачи данных через двужильный провод линии питания (такой как ТРП) позволяет резко сократить расходы и решить вопрос энергоснабжения.

В данной работе рассматривается вариант низкоскоростной передачи данных, так как при телеметрии таких показателей среды, как освещение, температура, влажность, часто нет необходимости в высокой скорости опроса. Также рассматривается электроснабжение низковольтным (12 В) постоянным током, так как это позволяет удешевить узлы и снизить негативные последствия аварий.

Существуют системы, выполняющие аналогичные задачи, например, Power Line Communication Using RS-485 [5]. Их использование предполагает наличие микроконтроллера на каждом узле. В данной работе было решено отказаться от этого, а данные передавать с помощью гармонического сигнала, менее подверженного сложным искажениям в рассматриваемой среде, чем прямоугольный сигнал.

Для анализа получаемого аналогового сигнала требуется воспользоваться методами цифровой обработки данных, что в связи с бурным развитием вычислительных мощностей не является чрезмерно трудоёмкой задачей даже для микроконтроллеров бюджетного сектора.

По результатам неформального опроса, была выявлена тенденция к пониманию под системами передачи данных через линию питания систем типа «интернет через розетку». В отличие от последних, в данной работе не ставилось задач использования технологий Ethernet, сети переменного тока 220 В и достижения больших скоростей.

## Основная часть

Гармонический сигнал в данной работе было решено производить с помощью Quick Sine Wave Generator [6]. В отличие от других техник [7], такой подход – генерация прямоугольного сигнала и фильтрация из него основной гармоники – позволил регулировать частоту конкретного узла одним переменным резистором при небольшом общем количестве элементов и приемлемом качестве полученного сигнала.

Так как зачастую нужно определять только наличие превышения какого-либо параметра окружающей среды, то было решено сравнивать напряжение на датчике (фоторезисторе, терморезисторе и т.п.) компаратором на операционном усилителе и последним шунтировать через диод соединение времязадающих конденсатора и резистора, останавливая (или запуская) генерацию и тем самым передавая информацию о превышении заданного порога. Для определения конкретного значения можно подавать сигнал с зависимой от параметра частотой, namного меньшей несущей, но этот вариант не был подробно рассмотрен.

Для питания постоянным током определённого напряжения каждый отдельный узел подключается к линии через LC ФНЧ, описанный, например, в [5]. Передача сигнала на эту же линию ведётся через разделительный конденсатор, который можно рассматривать как ФВЧ.

Итоговое устройство узла датчика можно описать структурной схемой на рисунке 1.



Рисунок 1 — Структурная схема узла датчика

Была собрана экспериментальная установка с двумя узлами датчиков – по схеме на рисунке 2 (с индуктивностью по питанию 39 мГн, съёмным датчиком и генератором на ОУ) и по схеме на рисунке 3 (с индуктивностью по питанию 3,9 мГн, конденсатором 100 мкФ, потребляющим почти 50 мА несъёмным датчиком положения ITR9909 и генератором на NE555 с R2 для точной настройки в ограниченном диапазоне), узлом микроконтроллера (рисунок 4) и узлом источника питания (рисунок 5).

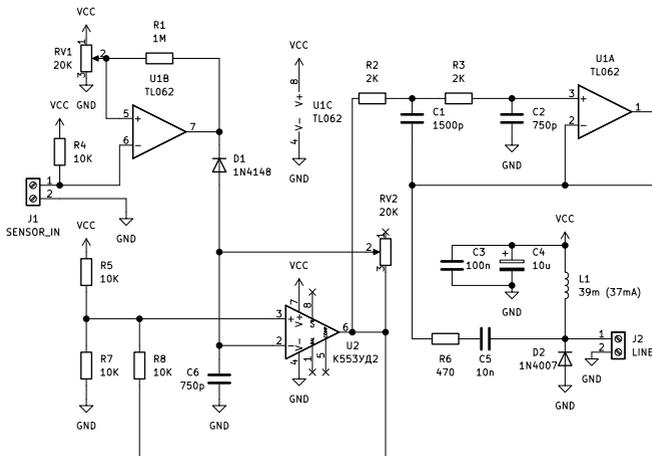


Рисунок 2 — Электрическая схема узла датчика, вариант 1

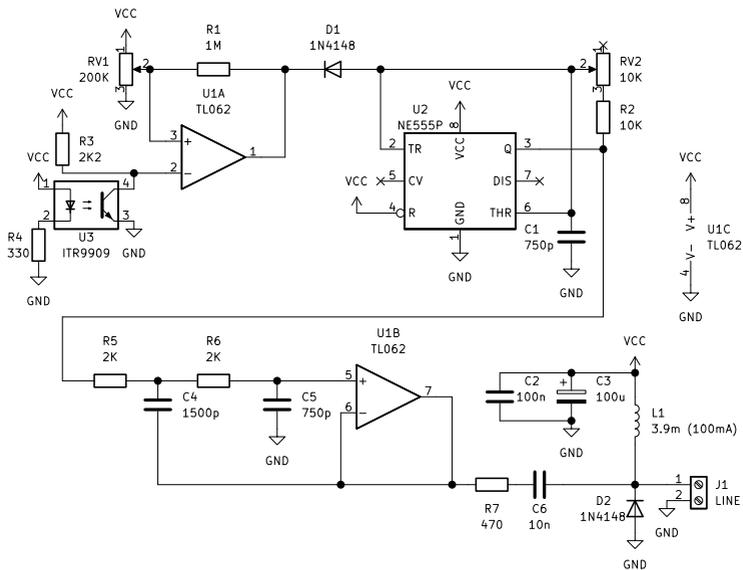


Рисунок 3 — Электрическая схема узла датчика, вариант 2

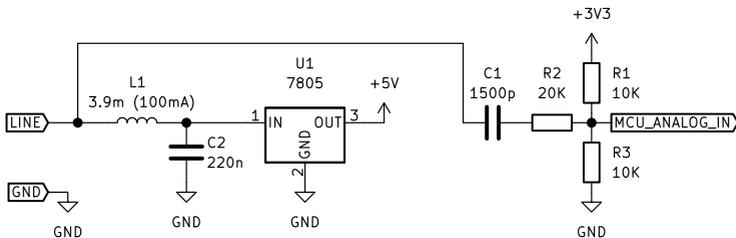


Рисунок 4 — Узел микроконтроллера

Для термостабильности частоты генераторов прямоугольных импульсов использовались NPO конденсаторы и выводные металлоплёночные резисторы.

На рисунке 4 перед микроконтроллером имеется делитель, который уменьшает амплитуду переменного сигнала и центрирует его на половине напряжения питания микроконтроллера. Для расчёта делителя резисторы R1 и R3 заменяются эквивалентной схемой – на схеме с рисунка, одним резистором сопротивлением 5 кОм, подключенным к средней точке питания 1,65В.

Частота среза ФВЧ второго порядка в схемах на рисунках 2 и 3 составляет около 75 кГц. Негативные явления в пространстве

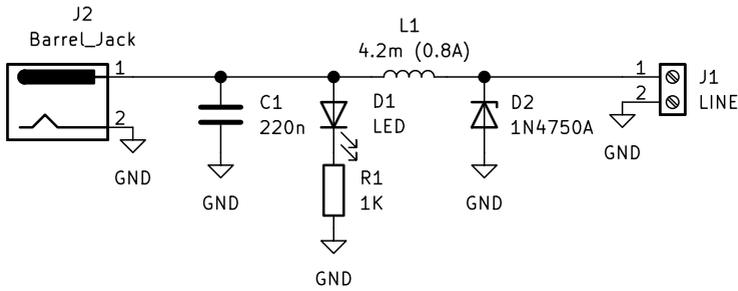


Рисунок 5 — Узел источника питания

частот при отклонении генератора прямоугольных сигналов от частоты среза оказались незначительны.

Для ФВЧ второго порядка минимальную требуемую скорость нарастания выходного напряжения (slew rate) операционного усилителя, используя следствие из первого замечательного предела

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{a \sin 2\pi\nu x}{2\pi\nu a x} = 1$$

и получая уравнение касательной к точкам наибольшего нарастания напряжения в знаменателе подпредельного выражения, можно выразить как

$$S_{R_{min}} = \frac{2\pi\nu a x}{x} = 2\pi\nu a = \pi\nu U,$$

где  $\nu$  – частота,  $U = 2a$  – размах сигнала, примерно равный напряжению питания.

Тогда для конкретной модели операционного усилителя

$$\nu_{max} = \frac{S_R}{\pi U}.$$

Выбранный операционный усилитель TL062 имеет достаточную скорость нарастания с  $\nu_{max} = 92840$  Гц при  $U = 12$  В.

Также операционный усилитель должен иметь диапазон входного напряжения от минуса до плюса питания – TL072, например, не подходит по этой причине.

## Цифровая обработка сигналов

В качестве микроконтроллера был выбран STM32F103C8T6 на плате «Blue Pill» с преобразователем напряжения из 5 В в 3,3 В и разъёмом USB. При времени семплирования 7,5 циклов АЦП

и времени преобразования 12,5 циклов АЦП при частоте АЦП 9 МГц частота дискретизации 450 кГц. Использовался контроллер DMA. При обнаружения сигналов на различных каналах для вычисления дискретного преобразования Фурье [1, с. 49] было решено использовать алгоритм Герцеля вместо алгоритма БПФ, так как первый является наиболее гибким для данной работы и в перспективе более оптимальной на случай увеличения точности частоты генерации сигнала. Вычисления производились с использованием типа данных float. Значением отсчёта принимался модуль спектральной функции.

Была написана программа для микроконтроллера, отправляющая значения всех 1024 отсчётов (весь спектр 0-225 кГц) через USB. На стороне ПК с помощью SerialPlot<sup>1</sup> были получены градуированные по оси частот графики – на рисунке 6 первый узел при неактивном втором, настроенный на 75 кГц, на рисунке 7 второй узел при неактивном первом, настроенный на 80 кГц, на рисунке 8 активны все два узла датчиков. Была предварительно вычтена постоянная составляющая сигнала.

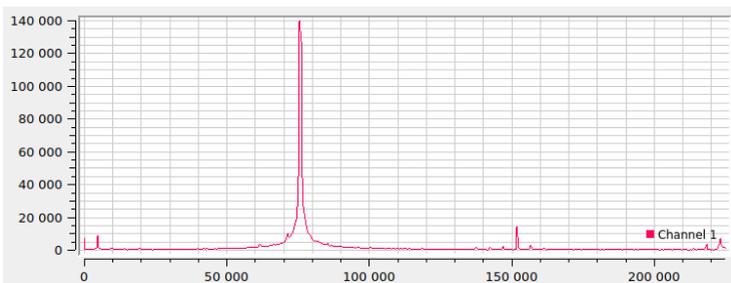


Рисунок 6 — Активен только первый узел

Также была написана программа, определяющая наличие сигнала на канале, для каждого канала высчитывая значение отсчёта, соответствующего определённой частоте, и восьми ближайших соседних отсчётов, при этом если хотя бы один из девяти был выше определённого порога, то принималось присутствие сигнала на канале и включался светодиод. Между каналами был один незадействованный отсчёт а, ширина каждого получалась около 5 кГц. Было испытано 4 канала с центрами в диапазоне 60-75 кГц. По субъективным ощущениям, реакция от датчиков была ожидаемой, настройка на канал по светодиодам была комфортной, система казалась надёжной. Программа использовала 12,79 КБ ПЗУ и

<sup>1</sup><https://hackaday.io/project/5334-serialplot-real-time-plotting-software>

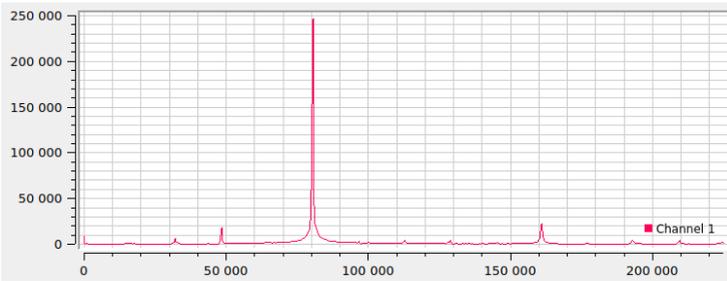


Рисунок 7 — Активен только второй узел

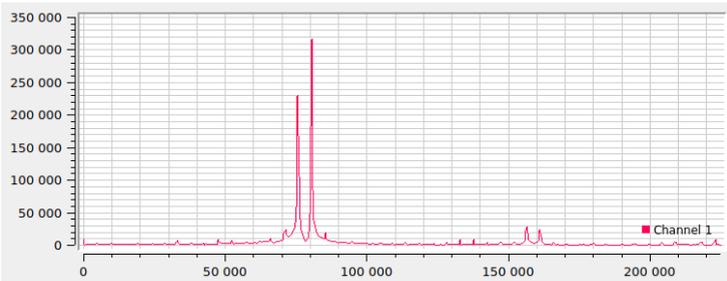


Рисунок 8 — Активны все два узла с датчиками

3,76 КБ ОЗУ. Сканирование всех каналов проводилось с частотой примерно 6 Гц при частоте ядра ARM 72 МГц.

## Заключение

Развивая тему, можно сконструировать сложные узлы, в отличие от обладающих минимальным функционалом узлов экспериментальной установки, способные передавать значение физической величины на датчике или обладающие другими дополнительными функциональными возможностями, а собранная экспериментальная установка только подтвердила возможности описанного принципа передачи данных.

Из особенностей можно отметить ограничение по количеству узлов, определяемое увеличением ёмкости линии из-за разделительных конденсаторов, и ограничение по силе тока индуктивностей применяемого порядка. Справедливы и особенности для обычных аналоговых линий связи (такие как затухание, волновое сопротивление и эхо [1, с. 234]), в частности, свойственных похожей

по принципу действия ADSL, длина которой обычно исчисляется километрами.

Возможна и передача цифрового сигнала между двумя микроконтроллерами по этой же линии. Каждый узел микроконтроллера тогда будет содержать и схему узла с датчиком, но генерировать прямоугольный сигнал будет сам микроконтроллер. За счёт увеличения точности генерации частоты увеличится спектральная плотность таких каналов и пропускная способность может быть приемлемой для современных цифровых систем. Такой принцип используется при частотном разделении каналов и OFDM, нашедших применение в таких технологиях, как ADSL, WiFi, WiMax, LTE, телерадиовещании и т. д.

### Список литературы

1. Трохименко Я. К., Любич Ф. Д. Радиотехнические расчеты на микрокалькуляторах: Справочное пособие. – М.: Радио и связь, 1983. – 256 с., ил.
2. Андреев С. А., Воробьев В. А., Матвеев А. И. Снижение энергопотребления телеметрическими системами сельскохозяйственного назначения // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 1(89). С. 60-65.
3. Иванов, Ю. Б. Моделирование процесса передачи импульсов по несогласованной линии связи и питания датчиков // Информационные системы и технологии. – 2015. – № 6(92). – С. 88-96.
4. Иванов Ю. Б., Казачкин А. В. Система распределенного контроля по двухпроводной линии связи и питания // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – № 3. – С. 113-118.
5. Power Line Communication Using RS-485 Simulation Reference Design [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/ug/tiduei9/tiduei9.pdf>, свободный (11.06.2021).
6. A Quick Sine Wave Generator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/wp/snoa839/snoa839.pdf>, свободный (11.06.2021).
7. AN-263 Sine Wave Generation Techniques [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/an/snoa665c/snoa665c.pdf>, свободный (11.06.2021).

## DC POWER-LINE COMMUNICATION DATA COLLECTION SYSTEM WITH ANALOG NODES

*A.D. Shakirov*

Udmurt State University, 426034 Russia, Izhevsk, Universitetskaya, 1  
e-mail: *artdmshakirov@gmail.com*

*The development of nodes for a DC line is considered. The experimental setup consists of data acquisition nodes with minimal functionality for tracking a single environmental factor for exceeding the threshold value, microcontroller node and a power supply node. Harmonic signals of 60-90 kHz from nodes with sensors are simultaneously fed to the line and read from it through the separation capacitors, and direct current - through the inductors. For signal recognition in the experimental setup, the Goertzel [1] algorithm is used. Examples of application of the development: in greenhouses, personal subsidiary farms and heating mains for the detection of emergency situations and the increased influence of negative factors.*

Keywords: power-line communication, direct current, telemetry, analog signal, sensors, digital signal processing, Goertzel algorithm.