

## СИСТЕМА ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID

успешными, если погрешность шагового перемещения кюветы составляет не более 5-10% от диапазона перемещений сканера, а погрешность плавного сближения – не более 1 ангстрем. При этом признаком протекания туннельного тока является изменение его величины примерно на порядок при изменении расстояния игла-образец на один ангстрем.

### Заключение

Таким образом, автоматизация процесса сближения иглы и образца в электрохимическом туннельном микроскопе возможна при условии комплексного решения задач обеспечения высокой точности позиционирования, защиты острия иглы от повреждений, а также разработки методов и средств анализа протекающих через иглу токов. Представленные в данной работе технические решения использовались, в частности, для расширения функциональных возможностей существующего воздушного туннельного микроскопа до уровня гибридного, позволяющего вести исследования как в воздушной, так и в жидких средах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bard, A. J. Scanning electrochemical microscopy [Текст] / A.J. Bard, M.V. Mirkin. - Dekker Inc. 2001. – 650 p.
  2. Binnig, G. Single tube three dimensional scanner for scanning tunneling microscopy [Текст] // G. Binnig, D.P.E. Smith.- Rev. Sci. Instr. – 1986. – v.57. – № 8. – P. 1688.
  3. Патент 2297072 Российская Федерация, МПК H01J37/28, G01B11/08, H01L41/09. Инерционный двигатель [Текст] / В.А. Быков. – № 2005134280/28, заявл. 08.11.05; опубл. 10.04.07. Бюл. № 10.
  4. Гуляев, П.В., Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа [Текст] // П.В. Гуляев, Ю.К. Шелковников, А.В. Тюриков. – Электротехника. –2010. – №10. – С. 8-11.
  5. Hongzhuang, Z. Impact drive rotary precision actuator with piezoelectric bimorphs [Текст] // Z. Hongzhuang, ZENG Ping, Hua Shunming и др. – Front. Mech. Eng. China. – 2008. – v.3. – № 1. – P 71-75.
  6. Lindsey, G., Scanning Electrochemical Microscopy: Approach Curves for Sphere-Cap Scanning Electrochemical Microscopy Tips [Текст] // G. Lindsey Stuart Abercrombie, Guy Denuault, Salvatore Daniele, Eddy De Faveri - Analytical Chemistry. – V.79. – №.7. – 2007.
- К.т.н., с.н.с. А.Н. Попов, д.т.н., зав.лаб. В.А. Серяков - (495) 123-45-67, Институт проблем управления РАН; аспирант Д.С. Апарин, тел. (3852) 36-77-72, aparin@google.com - Алтайский гостехуниверситет. К.т.н., с.н.с. П.В. Гуляев, к.т.н., с.н.с. Н.И. Осипов, м.н.с. М.Р. Гафаров, д.т.н., зав. лаб. Е.Ю. Шелковников, к.т.н., с.н.с. С.Р. Кизнерцев – 8(904)31-25-291, Институт прикладной механики УрО РАН, г. Ижевск.*

УДК 621.396.44

## СИСТЕМА ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID

С.А. Калабанов, А.В. Карпов, Р.С. Кириллов, Р.И. Шагиев

Описывается разработка системы защиты и управления низковольтной сетью 0,4 кВ на базе технологии Smart Grid. Разработан стек протоколов обмена данными. Создан действующий макет системы и проведены натурные испытания.

**Ключевые слова:** Smart Grid, PLC модем, частотная манипуляция, дифференциальная токовая защита.

### Введение

Одним из бурно развивающихся направлений в мировой науке и технике начиная с 2008-2009 годов является технология Smart Grid (умные электросети). Технология Smart Grid призвана превратить обычную домашнюю электросеть 0,4 кВ, имеющую в своей основе односторонний поток электрической энергии от производителя электроэнергии до потребителя, в двухсторонний канал электрической энергии и потока информации. Такие

особенности интеллектуальной электросети дадут конечным потребителям возможность широкого выбора действий в плане сохранения и рационального использования электроэнергии.

Для реализации технологии Smart Grid необходимо решить определенный спектр задач. Во-первых, нужно разработать концепцию интеллектуальной электросети, реализуемые ею функции (управление электросетью, защита электросети и т.д.), а также

## РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

определить состав входящих в сеть устройств. Во-вторых, необходимо организовать поток информации между устройствами сети, то есть решить задачи сетевого взаимодействия: выбрать физическую среду передачи данных, разработать стек протоколов обмена информацией. В-третьих, выполнить практическую реализацию сети и провести испытания.

Система защиты и управления низковольтной электросетью 0,4 кВ

В данной работе описывается система защиты и управления низковольтной электросетью 0,4 кВ, которая отвечает требованиям по реализации технологии Smart Grid.

Она представляет собой объединенные в сеть устройства защиты и управления сетью 0,4 кВ (УЗиУ) и позволяет организовать управление отдельными сегментами электросети. В составе системы можно выделить два типа УЗиУ: центральное устройство и локальное устройство. Топология сети представляет собой разветвляющиеся линии электропередачи с локальными устройствами на концах каждой линии (рисунок 1). Локальные устройства выполняют сбор данных непосредственно у нагрузки, а также коммутируют каждую линию. Управление локальными устройствами и считывание накопленных данных с них осуществляется центральным устройством, расположенным в начале каждой из линий. Таким образом, получается сеть с топологией "звезда". Связь между устройствами в сети осуществляется по линии электропередачи при помощи PLC-технологии [1]. Технология PLC (Power Line Communications) применяется для создания сети передачи данных по силовым электрическим кабелям. То есть физической средой передачи данных являются провода, по которым одновременно подается электрическое питание. Эти провода находятся под напряжением 0,4 кВ и выше, и по проводам течет ток промышленной частоты 50 Гц. При этом передача сигналов в технологии PLC происходит на частотах, много больших промышленной частоты.

Отображение считанных данных и конфигурирование системы осуществляется с помощью компьютера, присоединенного к центральному устройству по USB-интерфейсу.

Предлагаемая система защиты и управления управляет удаленными нагрузками; контролирует ток потребления нагрузок и настраивает защиту по потребляемому току для каждой нагрузки индивидуально; позволяет защищать линию от токов утечек.

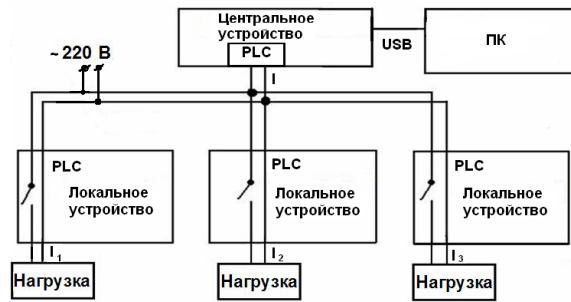


Рисунок 1 – Система защиты и управления низковольтной электросетью 0,4 кВ

Функция защиты электросети основана на принципе продольной токовой дифференциальной защиты линии электропередачи (рисунок 2). Если линия электропередачи не имеет повреждений, то значения силы тока в начале и в конце линии равны:  $I_{л1} = I_{л2}$ . При наличии повреждений в линии часть тока будет утекать на внешние проводники (например, на проходящий рядом нулевой провод), при этом  $I_{л1} > I_{л2}$  (поскольку часть тока не доходит до конца линии, утекает на внешние проводники). И при превышении значения разницы двух токов ( $I_{л1} - I_{л2}$ ) некоего предельного значения ( $I_{max}$ ):  $(I_{л1} - I_{л2}) > I_{max}$  произойдет отключение нагрузки.

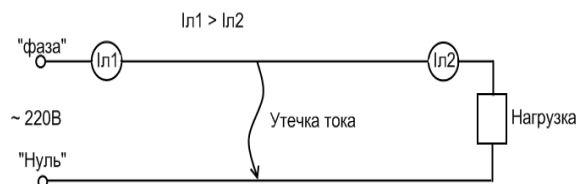


Рисунок 2 – Продольная дифференциальная токовая защита

### Стек протоколов обмена данными в системе

Система защиты и управления электросетью предполагает наличие большого количества устройств, обменивающихся информацией по линиям электропередач. Разработан стек протоколов обмена информацией между УЗиУ, соответствующий модели OSI [2].

### Физический уровень

В нашем случае протокол физического уровня отвечает за передачу и приём информационных битов по линиям электросети. На физическом уровне реализован PLC-модем. Блок-схема модулятора PLC-модема приведена на рисунке 3.

Для передачи данных используется частотная манипуляция сигнала. Для логической единицы выбрана частота 90 кГц, для логического нуля – частота 100 кГц. С выхода

## СИСТЕМА ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID

микроконтроллера на полосовой фильтр с центральной частотой 95кГц поступает частотно-манипулированный прямоугольный сигнал. С фильтра выходит близкий к синусоидальному сигнал, который затем усиливается и подается в сеть. Уровень сигнала на выходе составляет 3 В.

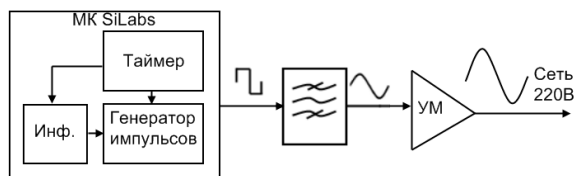


Рисунок 3 – Модулятор PLC-модема

Демодулятор PLC-модема построен по схеме автокорреляционного приемника [3].

### Канальный уровень

На канальном уровне реализуется стандартный для всех устройств системы информационный кадр, в котором предусмотрена передача всей необходимой информации. Связь между устройствами является асинхронной, так как нет отдельной линии для синхронизации. По этой причине синхронизация реализована в самом информационном кадре с помощью преамбулы.

Учитывая специфичность передаваемой информации, был реализован информационный кадр, представленный на рисунке 4.

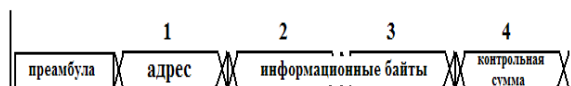


Рисунок 4 – Информационный кадр

Информационный кадр состоит из четырех частей:

1. Преамбула предшествует информационному кадру. Она представляет собой последовательность битов «1» «1» «1» «0»;
2. 1-й байт содержит в себе адрес локального или центрального устройства системы;
3. 2-й и 3-й байты служат для передачи служебной информации. Это либо значение силы тока, когда локальное устройство отвечает на запрос центрального, либо управляющая команда для данного локального устройства;
4. 4-й байт – контрольная сумма

### Сетевой уровень

В системе защиты и управления электросетью существует только одна шина данных, поэтому не требуется коммутация каналов. Чтобы организованно использовать эту линию передачи данных, нужно реализовать систему с разделением времени. На сетевом

уровне решается проблема использования канала с помощью централизованного управления. Для избегания коллизий все локальные модемы системы защиты и управления никогда по своей инициативе не начинают передачу информации.

Протокол сетевого уровня работает следующим образом:

- Центральное устройство в порядке очереди отправляет каждому локальному устройству запрос, представляющий собой информационный кадр со следующим содержанием: первый байт кадра содержит адрес опрашиваемого локального устройства, второй байт кадра содержит команду на измерение силы тока.
- Локальные устройства постоянно выполняют измерение силы тока, потребляемого соответствующим потребителем. Локальное устройство, которому был адресован данный запрос, отправляет измеренное значение силы тока в ответном информационном кадре.
- В первом байте информационного кадра, который локальное устройство отправляет на линию электросети в ответ на запрос центрального устройства, содержится адрес данного локального устройства.
- Центральное устройство, получив от локального устройства информацию о силе тока, отправляет эту информацию в компьютер.

### Сеансовый уровень

Для электросети характерны высокие уровни шума и затухания сигнала, что может привести к ошибке при доставке сообщения. На сеансовом уровне решаются следующие задачи:

- Реализация передачи и вычисление контрольной суммы для контроля правильности сообщения;
- Фиксирование аварии, если одно из устройств перестало отвечать на запросы;
- Организация повторной доставки нужных сообщений.

Каждое устройство, принявшее информационный кадр выполняет проверку его правильности: выполняется операция XOR между первыми тремя байтами принятого кадра. Результат операции сравнивается с четвертым байтом кадра. Если контрольная сумма совпадает, принятый информационный кадр считается принятым правильно, в противном случае принимается решение об искажении данного кадра.

Центральное устройство, отправив информационный запрос локальному устройству, включает таймер ожидания ответа ло-

## РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

кального устройства на 40 мс. Этого времени достаточно для выполнения локальным модемом любой возможной команды и отправки ответа центральному устройству. Если за отведенное время ответ от локального устройства не получен, центральное устройство отправляет информационный кадр повторно и снова запускает таймер ожидания. Всего может произойти три повторные передачи кадра запроса. Если ответ от локального устройства получен не будет, принимается решение о неисправности данного устройства.

Если по результатам проверки информационный кадр признан правильным, центральное устройство приступает к опросу следующего в очереди локального устройства.

### Представительский уровень

Необходимо, чтобы устройство, отправившее информационный кадр, и устройство, его принявшее, одинаково интерпретировали эту информацию. Кодирование и декодирование информации осуществляется на уровне представлений. Кадр содержит два поля информации: 1 – адресный байт, 2 – байты команды и значения силы тока.

Младшие семь бит адресного байта служат для записи адреса в двоичной форме. Старший бит используется для обозначения состояния коммутатора данного локального устройства. При передаче информационного кадра от локального устройства центральному в данный бит записывается:

- “1”, если на нагрузку, которую коммутирует локальное устройство, подано напряжение;
- “0”, если соответствующая нагрузка отключена от электросети.

При передаче информационного кадра от локального устройства центральному, измеренное значение силы тока записывается во второй и третий байты информационного кадра в виде положительного двоичного числа, пропорционального измеренному значению.

### Прикладной уровень

Результат работы этого уровня наблюдает пользователь системы защиты и управления электросетью. На данном уровне реализуется совмещение центрального устройства с компьютером – написана программа, отображающая информацию о состоянии электросети и осуществляющая пользовательское управление нагрузками. На прикладном уровне реализуется функция защиты электросети от токов утечки.

### Практическая реализация системы защиты и управления низковольтной электросетью 0,4 кВ

Блок-схема центрального и локального устройств приведена на рисунке 5. Устройства выполнены на одной элементной базе, за исключением наличия в последнем интерфейса связи с ПК. Основой устройства является процессор, осуществляющий функции взаимодействия прибора между его составными частями и внешними устройствами. Модуль измерения осуществляет измерение тока на нагрузке после коммутатора. Коммутатор осуществляет подключение и отключение нагрузки от сети. Модуль PLC-модема подключен к сети через усилитель с низким выходным сопротивлением для согласования с импедансом сети.

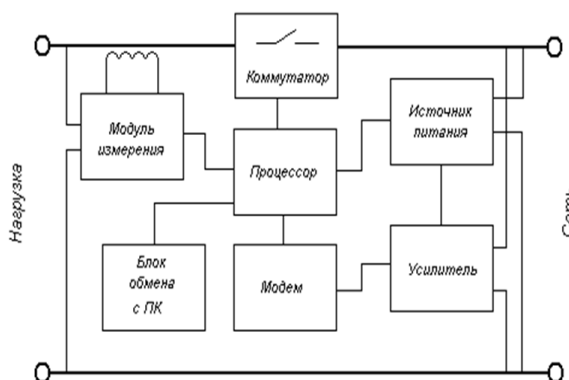


Рисунок 5 – Блок-схема центрального и локального устройств

Основой устройств системы служит микроконтроллер SiLabs C8051F350 фирмы Silicon Laboratories Inc [4]. Выделим три основные причины обуславливающие выбор данной микросхемы:

- наличие 24-разрядного АЦП, необходимого для точного измерения силы тока;
- малая величина потребляемого тока;
- высокое быстродействие (пиковая производительность до 50 MIPS).

### Результаты

- Разработана система защиты и управления, позволяющая создать интеллектуальную сеть в рамках существующей низковольтной электросети 0,4 кВ;
- Собран макет, реализующий функции мониторинга, управления и защиты;
- Разработан и отлажен стек протоколов обмена данными между устройствами системы защиты и управления по электросети PLC;

Проведены натурные испытания. В результате испытаний получены следующие результаты:

- Дальность передачи по PLC-связи не менее 100 м;
  - Скорость обмена между модемами в сети до 3 кБод;
  - Реализована продольная дифференциальной защиты электрической линии от токов утечки;
  - УЗиУ позволяет измерять токи до 10 А;
  - Ток срабатывания продольной токовой дифференциальной защиты – 50 мА;
2. Шварц, М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. ч.1. / М. Шварц. – М.:Наука, 1992. – 336 с.
  3. Манаев, Е.И. Основы радиоэлектроники. / Е.И. Манаев. – М.: Радио и связь, 1990. – 512с.
  4. C8051F35x Data Sheet [Electronic resource] / Silicon Laboratories – Mode of Access: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/C8051F35x.pdf>

*К.ф.м.н. С.А. Калабанов – kazanserger@mail.ru; д.ф.м.н., проф. А.В. Карпов – Arkadi.Karpov@ksu.ru; студент Р.С. Кириллов – kiroser@mail.ru; магистрант Р.И. Шагеев – r3ntil@gmail.com - Казанский федеральный университет, Институт Физики, кафедра радиофизики.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zuberi, K. H. Powerline Carrier (PLC) Communication Systems / K. H. Zuberi. – Stockholm: IMIT, 2003 – 108 p.

УДК 004.9:628.9:621.382.2

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ

О.Ю. Коваленко, С.А. Панфилов, А.А. Медведева

В статье рассматриваются средства автоматизации измерений и контроля характеристик светодиодов. Описано разработанное автоматизированное устройство сбора данных, блок-схема взаимодействия микроконтроллерной системы с оператором. Для обеспечения оперативного получения данных разработана установка для фиксации положения светодиода.

**Ключевые слова:** автоматизированное устройство, светодиод, микроконтроллерная система, программное обеспечение.

#### Введение

Одним из приоритетных направлений Федеральной целевой программы по повышению энергоэффективности является внедрение светодиодных световых приборов для замены световых приборов с лампами накаливания, а также с люминесцентными лампами. Современные светодиодные световые приборы имеют световую отдачу 100-110 лм/Вт, что в 9 раз выше, чем у ламп накаливания, и в 2-3 раза выше, чем у компактных люминесцентных ламп.

По мнению экспертов (ВЦИОМ, Роспотребнадзор) в связи с программой перехода к эффективным системам освещения объем рынка светодиодных светильников к 2014 году по России должен составить 15-16 млн. штук (около 18-20 млрд. светодиодов). В связи с этим перед отечественными производителями в ближайшее время стоит задача обеспечить потребителей качественной энергоэффективной светотехнической продукцией нового поколения.

Основной задачей разработки и внедрения светодиодных светильников является создание приборов, соответствующих стандартам и нормативным требованиям на данный вид изделия.

Проблемой разработки качественных светильников является не полное соответствие параметров светодиодов значениям, декларируемым фирмами-производителями. Например, по данным Лаборатории исследований световых технологий мощные светодиоды нового поколения CREE XLamp XP-E «недобирают» около 10 лм светового потока, что составляет 9-10 % от нормативного значения [1].

#### Постановка задачи

В связи с такой ситуацией на рынке комплектующих изделий, одной из актуальных задач является применение в светотехнических измерениях автоматизированных технических средств для осуществления контроля параметров светодиодов. Эту задачу можно успешно решать с помощью распределенных систем сбора и обработки информации