

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Учреждение Российской академии наук
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ
им. В.А.КОТЕЛЬНИКОВА РАН
Фрязинский филиал

На правах рукописи

УДК 681.7.068

Задворнов Сергей Александрович



ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ
ГИБРИДНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ

Специальность:

01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва, 2009

Работа выполнена
во Фрязинском филиале Института Радиотехники и Электроники
им. В.А.Котельникова РАН

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
доцент
Соколовский Александр Алексеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
ведущий научный сотрудник
Антонов Сергей Николаевич

доктор физико-математических наук,
профессор
Наний Олег Евгеньевич

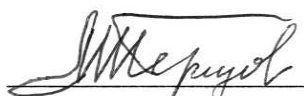
Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное
предприятие "Всероссийский научно-
исследовательский институт оптико-
физических измерений" Федерального
агентства по техническому регулированию и
метрологии Российской Федерации

Защита диссертации состоится «24» апреля 2009 г. в 12 часов на
заседании Диссертационного совета Д 002.231.03 Института радиотехники и
электроники им. В.А. Котельникова РАН по адресу:
125009, г. Москва, ГСП-9, ул. Моховая, д.11, корп.7

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института радиотехники и
электроники РАН.

Автореферат разослан «23» марта 2009 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



Перцовский М.И.

АКТУАЛЬНОСТЬ. Современные физические эксперименты характеризуются значительным уровнем энергетической насыщенности, которая требует от измерительных систем высокой помехозащищенности и гальванической развязки точек измерения и индикации.

Этим требованиям в значительной степени отвечают волоконно-оптические датчики, обеспечивающие как гальваническую развязку, так и высокую помехозащищенность. В то же время волоконно-оптические датчики обладают рядом недостатков, которые сдерживают их широкое внедрение в промышленную и исследовательскую практику. К этим недостаткам относятся невысокий уровень стандартизации, унификации этих датчиков и их элементной базы. Для их создания зачастую необходимы специализированные оптические элементы, включая специальные волокна, промышленное производство которых еще не освоено в полной мере, что обуславливает их относительно высокую стоимость и ограничивает их широкое применение в физическом эксперименте. В то же время основные преимущества волоконно-оптических измерительных систем, а именно помехозащищенность и гальваническая развязка, обеспечиваются трактом передачи сигнала, выполненном на основе волоконного световода.

Подавляющее большинство датчиков физических величин (первичных преобразователей) выпускается массово современной промышленностью. Эти датчики представляют собой элементы традиционной микроэлектроники, имеют метрологические характеристики, отвечающие современным требованиям, и невысокую стоимость.

Представляется перспективным подход, совмещающий в измерительных системах достоинства волоконных световодов и преимущества традиционных датчиков. Такие измерительные системы, или гибридные системы, в основе своего устройства содержат волоконный световод в качестве среды передачи измерительной информации, и традиционные датчики в качестве чувствительных элементов. Волоконный световод в таких системах также

играет роль среды передачи оптического излучения, используемого для питания электронных и оптоэлектронных элементов в точке измерения.

Актуальность разработки измерительных систем такого типа вызвана потребностью в недорогих и технологичных измерительных системах, соединяющих в себе преимущества, как волоконных световодов, так и традиционных датчиков. Такие измерительные системы могут найти применение, как в разнообразных физических исследованиях, так и промышленных технологиях. Особенностью этих систем является то, что мощность оптического излучения преобразуется в электрическую мощность, которая питает электронный модуль удаленного блока с подключенными к нему датчиками. Разработка таких систем за рубежом ведется более 10 лет, созданы основные компоненты таких систем и проведены испытания гибридных волоконно-оптических измерительных систем (ГВОИС) для измерения различных физических величин. В то же время до настоящего времени не были изучены вопросы взрывобезопасности волоконных систем, в которых передается значительная оптическая мощность. Кроме того, не были изучены методы построения многофункциональных и многоканальных гибридных измерительных систем, отсутствовала отечественная элементная база для их построения.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью настоящей работы являлось определение критериев абсолютной взрывобезопасности волоконно-оптических систем, исследование и разработка эффективных фотовольтаических преобразователей для питания гибридных измерительных систем, разработка методов кодирования измерительной информации, позволяющих создавать многофункциональные измерительные системы и реализация разработанных методов в конкретных образцах измерительных систем.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

- Впервые в стране создан высокоэффективный (КПД>45%) фотовольтаический преобразователь на основе двойных гетероструктур AlGaAs, осуществляющий преобразование энергии монохроматического оптического излучения в электрическую энергию с квантовой эффективностью более 88%, напряжением холостого хода $U=1,23В$;
- Предложена одноволоконная схема ГВОИС, в которой один элемент применяется как в качестве фотовольтаического преобразователя, так и в качестве источника излучения для передачи измерительной информации;
- Разработаны энергосберегающие методы построения ГВОИС, позволяющие создавать измерительные системы, потребление удаленного модуля которых составляет менее 0,5мВт;
- Разработаны критерии взрывобезопасности волоконно-оптических трактов, имеющие абсолютный характер. Определены максимальные уровни оптической мощности, при которых волоконно-оптическая система может считаться взрывобезопасной;
- Разработаны энергосберегающие алгоритмы кодирования измерительной информации для создания многоканальных измерительных систем на основе ГВОИС;
- Разработан экспериментальный макет двухканального датчика температуры, как прототипа многоканального датчика для контроля температурных полей;
- На основе технологии ГВОИС предложен способ создания волоконно-оптических датчиков углеводородных газов, основанный на спектральных измерениях в области основных линий поглощения этих газов;
- Разработан многофункциональный датчик тока, позволяющий одновременно измерять амплитуду, частоту, фазу тока и температуру токнесущего провода.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.

- Разработан и создан высокоэффективный (КПД>25%) фотовольтаический преобразователь, осуществляющий преобразование энергии монохроматического оптического излучения в электрическую энергию и являющийся источником питания (с выходным стабилизированным напряжением 3,3/5,0 В);
- Разработана лабораторная технология сборки фотовольтаического преобразователя с волоконным входом;
- Разработан экспериментальный макет двухканальной ГВОИС температуры, диапазон измерений (в каждом канале) $-50^{\circ}\text{C} \dots 250^{\circ}\text{C}$, предел основной погрешности - 2°C ;
- Разработан экспериментальный макет датчика метана, в основе функционирования которого лежит измерение поглощения контролируемой среды в области основной линии поглощения метана;
- Разработан экспериментальный макет многофункционального датчика электрического тока, производящего измерения амплитуды, частоты и фазы тока, а также температуры токонесущего провода.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1. Взрывобезопасность волоконно-оптического тракта в среде с температурой самовоспламенения $450 \div 600^{\circ}\text{C}$ (смесь водорода, метана, пропана и подобных с воздухом) обеспечивается при уровне передаваемой оптической мощности, не превышающем $0,5d$ мВт, где d – диаметр световедущей жилы (в мкм) многомодового оптического волокна.
2. Разработан алгоритм последовательного широтно-импульсного кодирования измерительной информации для многоканальных измерительных систем, состоящий из следующих процедур: 1) измерительный сигнал с датчика,

условно принятым первым, преобразуется в последовательность прямоугольных импульсов с периодом T так, что длительность импульсов пропорциональна значению измерительного сигнала; 2) на переднем и заднем фронтах этих импульсов формируются импульсы прямоугольной формы, длительность которых связана со значением измерительных сигналов со второго и третьего датчиков. Последняя процедура может повторяться n раз для общего числа датчиков $(2n+1)$, в результате чего образуется импульсная последовательность, содержащая (2^n+1) импульсов на временном интервале T ; 3) на передних и задних фронтах импульсов полученной последовательности формируются короткие импульсы так, чтобы скважность импульсов результирующей последовательности была максимальной при используемых аппаратных средствах. Разработанный алгоритм кодирования является основой для построения многоканальных гибридных измерительных систем, в которых среднее энергопотребление измерительного блока не превышает взрывобезопасных уровней необходимой оптической мощности.

3. Фотовольтаические преобразователи на основе двойных гетероструктур AlGaAs-GaAs при работе от монохроматического источника излучения с длиной волны в диапазоне $\lambda=790\dots 830\text{нм}$ обеспечивают преобразование энергии оптического излучения в электрическую энергию с эффективностью до 45%, что является основой для создания источников питания для гибридных волоконно-оптических измерительных систем с выходным напряжением 3-5В и мощностью до 30Вт.

4. Метод построения гибридных волоконно-оптических датчиков углеводородных газов, основанный на преобразовании спектра излучения, для которого стандартное кварцевое волокно является прозрачным, в излучение, соответствующее основным линиям поглощения исследуемых газов в спектральном диапазоне 3÷4 мкм, позволяет в 50-100 раз повысить

пространственную разрешающую способность датчика по сравнению с измерением на обертонах основной линии поглощения.

Все основные результаты настоящей диссертационной работы были получены автором лично под руководством Соколовского А.А.

Результаты настоящей диссертационной работы были внедрены в ИООО «Союз-Кабель» (производство волоконно-оптического кабеля, г.Витебск, Республика Беларусь) и других предприятиях.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы, включенные в диссертацию, докладывались на X международном симпозиуме IMEKO TC7 International Symposium on Advances of Measurement Science (г.Санкт-Петербург, 2004г.), XIV научно-технической конференции “Фотометрия и ее метрологическое обеспечение” (г.Москва, 2004г.), XVI научно-технической конференции “Датчики и преобразователи систем измерения, контроля и управления” (г.Судак, 2004г.), Всероссийской конференции по волоконной оптике (г.Пермь, 2007г.), Международной конференции IEEE по средствам и технике измерений I2MTC (г.Виктория, Канада, 2008г.), 21-й Канадской конференции IEEE (г.Ниагара Фолз, Канада, 2008г.), 63-ей научной сессии, посвященной Дню Радио, Канадской конференции CIGRE по энергетике (г.Виннипег, Канада, 2008г.).

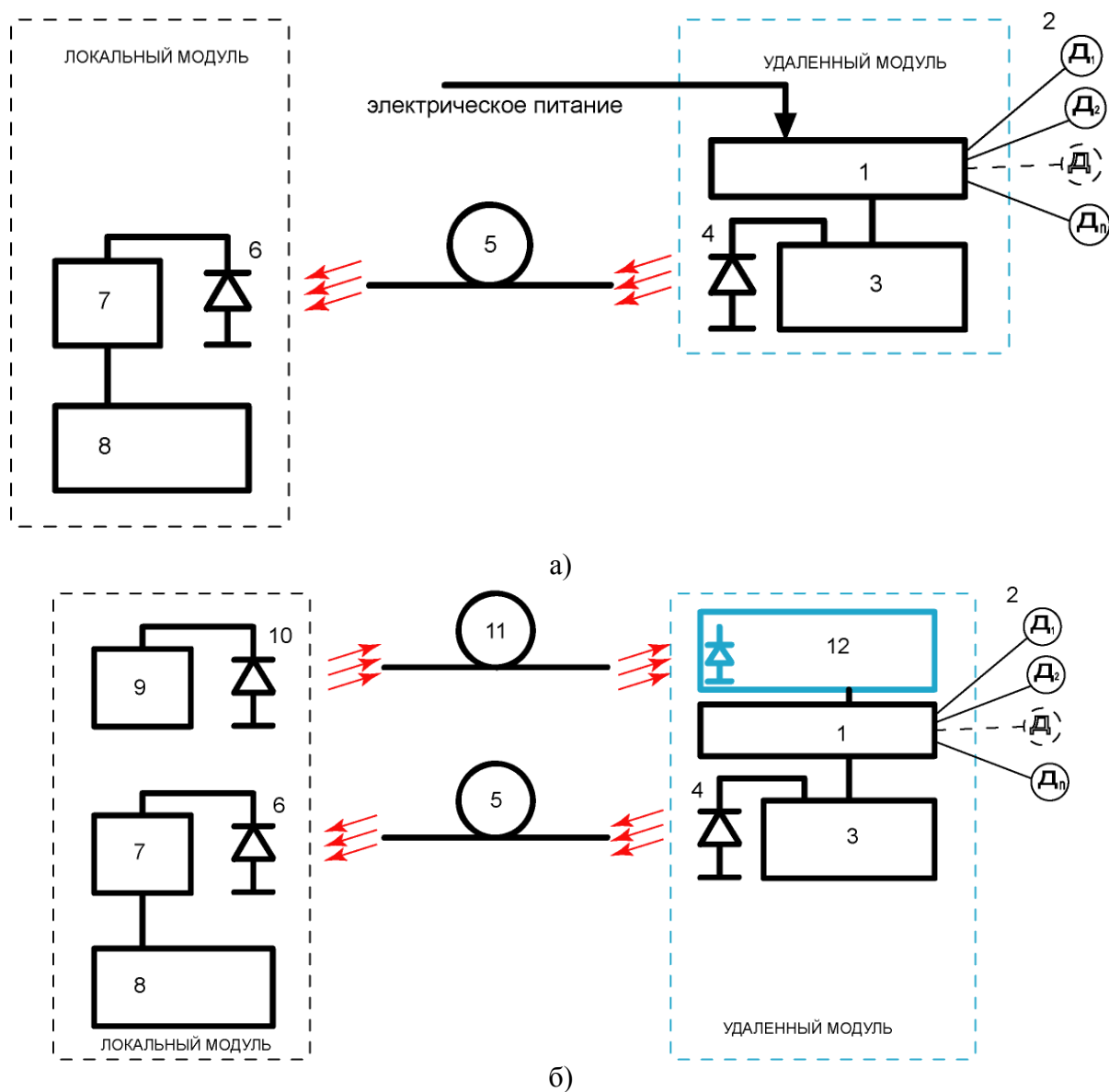


Рис.1.

а) принципиальная схема гибридной волоконно-оптической измерительной системы (ГВОИС);

б) принципиальная схема ГВОИС с питанием оптическим излучением.

1 – измерительный блок; 2 – датчики физических величин; 3 – блок кодирования и передачи измерительной информации; 4 – полупроводниковый лазер; 5 – оптическое волокно; 6 – фотодиод; 7 – декодер; 8 – блок отображения; 9 – блок накачки лазера; 10 – полупроводниковый лазер; 11 – оптическое волокно; 12 – блок фотовольтаического преобразователя.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, показаны научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматривается структурная схема гибридной волоконно-оптической измерительной системы (ГВОИС) (Рис.1.), назначение и работа основных ее элементов. В этой главе также проводится обзор литературы, посвященной разработке, созданию и внедрению ГВОИС. В общем случае питание удаленного модуля ГВОИС может осуществляться различными способами (Рис.1, а): от чувствительного элемента датчика (если применяется чувствительный элемент) генераторного типа), от природных источников, от встроенных элементов питания, а также оптическим излучением, передаваемым по волоконному световоду в зону измерений. Наибольшее распространение получил последний способ, для реализации которого необходимы эффективные фотовольтаические преобразователи (Рис.1, б). Эти преобразователи являются многоэлементными, представляют собой сложную в технологическом плане конструкцию, имеют высокую стоимость.

В этой же главе проведен детальный анализ существующих микроэлектронных датчиков различных физических величин, которые по величине энергопотребления применимы в ГВОИС.

В результате проведенного анализа сформулированы основные задачи настоящей диссертационной работы.

1. Определить критерии абсолютной взрывобезопасности по величине передаваемой мощности для многомодовых волоконно-оптических трактов;
2. Разработать эффективные системы преобразования оптического излучения в электрический сигнал для питания электронных устройств;

3. Разработать энергосберегающие методы построения многоканальных измерительных систем;
4. Разработать методы измерения спектральных параметров исследуемой среды в области основных линий поглощения.

Вторая глава посвящена организации питания удаленного модуля ГВОИС оптическим излучением. Следует отметить, что практическая ценность результатов, приведенных в этой главе, выходит за рамки применимости только в измерительных системах. Эффективное питание оптическим излучением может лежать в основе создания исполнительных механизмов и любых других систем, где необходима гальваническая изоляция удаленного источника питания.

Значительная часть этой главы посвящена разработке фотовольтаического преобразователя, обеспечивающего эффективное преобразование мощности оптического излучения в электрическую мощность. На начальном этапе исследования стояла задача определения максимально допустимых уровней мощности оптического излучения, распространяющегося по оптическому волокну. Так как современные полупроводниковые лазеры могут обеспечить уровни оптического излучения в волокне, составляющие десятки ватт и более, ограничение этих уровней сверху необходимо во избежание воспламенения или взрыва во взрывоопасной атмосфере в результате воздействия оптического излучения. В свою очередь, значения этих уровней устанавливают требуемую эффективность функционирования фотоэлектрического преобразователя, при которой обеспечивается электрическое питание удаленного модуля с необходимыми напряжениями и мощностью.

Спектры поглощения молекул наиболее распространенных взрывоопасных газов не содержат сильных линий поглощения в области 0,7...1,7 мкм. В отсутствие поглощения непосредственного разогрева газа не происходит, поэтому в чистой атмосфере воспламенение оптическим

излучением не происходит. Ситуация меняется, если в атмосфере содержатся твердые микрочастицы, примером которых может служить угольная пыль. Эти частицы могут сильно поглощать оптическое излучение и разогреваться до температур самовоспламенения газов. Модель, описывающая характер взвеси частиц, их геометрию, характерные размеры, поглощающую способность и т.д., в общем случае является статистическим распределением. Для оценки возможности воспламенения излучением существуют разные подходы. В более ранних работах, посвященных этой проблеме, используется вероятностный подход, основанный на экспериментальных и теоретических данных. В рамках этого подхода определяются условия, при которых возможность воспламенения маловероятна.

В настоящей работе безопасные уровни определяются на основе критериев абсолютной безопасности, т.е. рассматриваются предельные случаи, соответствующие наиболее опасной ситуации. Таким образом определяются уровни мощности, ниже которых система является абсолютно взрывобезопасной, т.е. вероятность воспламенения или взрыва равна нулю независимо от геометрии, статистического распределения и любых других свойств частиц в атмосфере. Были проведены расчеты, дающие оценку максимальной температуры разогрева частиц различного диаметра при их взаимодействии с оптическим излучением из волоконного световода. Для проверки полученных расчетных данных были поставлены две серии опытов. Первая серия опытов ставила своей целью измерение температуры частиц при различных уровнях оптического излучения и сравнение полученных экспериментальных данных с расчетными. Вторая серия опытов была посвящена подрыву взрывоопасной (водородно-воздушной) газовой смеси при помощи излучения из волоконного световода. Было установлено, что газовая смесь в отсутствие поглощающих частиц не воспламеняется при уровнях мощности до 1Вт. При взаимодействии частиц определенной геометрии и размеров с оптическим излучением происходил подрыв газовой смеси при определенных уровнях мощности, которые отличались высокой

повторяемостью. Полученные в результате двух серий экспериментов данные демонстрируют хорошее согласие с результатами расчетов. На основе экспериментально подтвержденных расчетных данных было установлено, что безопасный уровень оптического излучения в общем случае зависит от диаметра световода, по которому распространяется излучение, и составляет 50 мВт для световода с диаметром сердцевины 100 мкм.

Далее в главе рассматривается преобразователь «свет-напряжение» и основные этапы его разработки. В основе конструкции преобразователя лежат два основных элемента: фотоэлектрический преобразователь и повышающий преобразователь напряжения. Последний необходим для обеспечения питания удаленного модуля стабилизированным напряжением 3,3В. Выходное напряжение фотоэлектрического преобразователя должно быть достаточным для запуска преобразователя напряжения и обеспечения его стабильной работы. Минимальное входное напряжение современных преобразователей составляет не менее 0,8В, а выходное напряжение фотодиодов на основе Si – не более 0,6В, Это несоответствие устраняется одним из следующих возможных решений или их комбинацией: 1) последовательное соединение (каскадирование) фотодиодов; 2) применение фотодиодов, изготовленных на основе более широкозонного, чем Si, полупроводникового материала. В настоящей работе были реализованы оба упомянутых решения. В частности, на основе каскада из четырех фотодиодов был реализован преобразователь, успешно применявшийся в составе двухканальной ГВОИС температуры ВДГ-2Та.

В то же время, использование преобразователя на основе каскадно связанных фотодиодов имеет свои недостатки, связанные, главным образом, с низкой эффективностью кремниевых преобразователей (~10%) и необходимостью высокоточной юстировки фотодиодов относительно пучка оптического излучения. Поэтому в настоящей работе был разработан и применялся одноэлементный преобразователь на основе гетероструктур AlGaAs.

Для определения наиболее эффективной структуры элемента фотопреобразователя были исследованы более 20 различных полупроводниковых структур AlGaAs на основе двойного гетероперехода производства ряда отечественных и зарубежных предприятий. Для различных уровней мощности падающего оптического излучения измерялись наиболее важные в рамках решаемых задач характеристики этих структур: ток короткого замыкания $I_{кз}$, напряжение холостого хода $U_{хх}$, нагрузочные характеристики. Для каждой структуры снимался спектр поглощения в диапазоне 700-1100 нм; кроме того. Кроме того, поскольку исследуемые структуры применяются и для производства светодиодов, снимался также спектр электролюминесценции каждой структуры.

Опираясь на полученные экспериментальные данные по фотовольтаическим и электролюминесцентным свойствам имеющихся структур, была предложена концепция гибридной измерительной системы, использующей лишь один волоконный световод как для организации питания оптическим излучением, так и для передачи измерительной информации. Этот результат достигается тем, что в зависимости от полярности и значения приложенного к полупроводниковой структуре напряжения, эта структура попеременно работает как в фотовольтаическом, так и электролюминесцентом режимах. На предложенное устройство получен патент на полезную модель.

В результате проведенных экспериментальных исследований была выявлена структура, в наибольшей степени отвечающая решаемым задачам. На основе данных спектра поглощения выбранной структуры было установлено, что оптимальным источником монохроматического излучения для освещения этой структуры является полупроводниковый лазер с длиной волны излучения 810нм. Такие лазеры доступны на рынке и широко применяются для оптической накачки ряда твердотельных лазеров. При освещении излучением такого лазера максимальное выходное напряжение на контактах структуры составляло 1,23В, коэффициент преобразования более 45%, коэффициент заполнения ~80%. Просветляющее покрытие не применялось. Применение

просветляющего покрытия может дополнительно увеличить эффективность преобразования до 52% и выше (Рис.2).

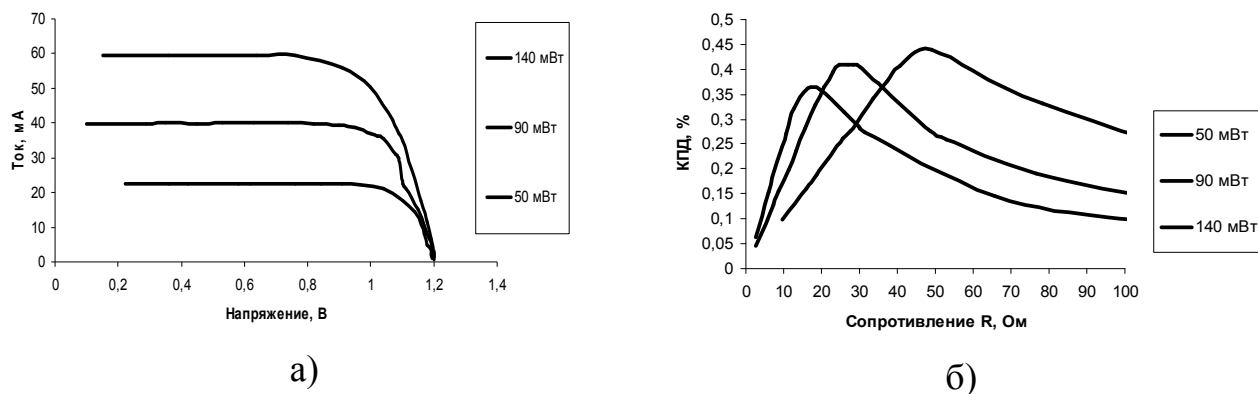


Рис. 2 Нагрузочные характеристики разработанного фотовольтаического преобразователя

Выходного напряжения на выходе фотопреобразователя достаточно для запуска повышающего преобразователя напряжения. На следующем этапе работы были исследованы различные микросхемы (разных производителей) преобразователей напряжения при совместной работе от фотопреобразователя. Исследовались такие параметры, как минимальная оптическая мощность запуска, максимальный КПД, нагрузочная характеристика. В результате исследований была выявлена модель микросхемы, осуществляющая преобразование напряжения наиболее эффективно. В настоящей работе удалось добиться максимального значения КПД при преобразовании мощности оптического излучения в электрическую мощность с напряжением 3,3В, который составил 25%.

Третья глава посвящена разработке энергосберегающих алгоритмов кодирования измерительной информации и их реализации в практических образцах ГВОИС.

В основе алгоритма лежит принцип широтно-импульсного кодирования информации. Этот принцип реализуется следующим образом. Элементная база современной микроэлектроники позволяет с помощью несложных схемотехнических приемов выполнить автогенератор прямоугольных

импульсов, в котором интервалы времени τ_1 и τ_2 , соответствующие длительностям максимального и минимальному уровней сигналов, являются функциями значений внешних частото задающих элементов автогенератора. Такие автогенераторы могут быть реализованы на основе распространенной микросхемы сдвоенного мультивибратора, а в качестве частото задающих элементов могут быть использованы традиционные датчики, которые в подавляющем большинстве представляют собой резистивные, емкостные, индуктивные элементы и элементы с выходом по напряжению. Таким образом, τ_1 и τ_2 зависят от пары измеряемых физических величин или параметров. Полученная таким образом импульсная последовательность затем подвергается преобразованию, в результате которого по передним и задним фронтам импульсов формируются новые прямоугольные импульсы с длительностями τ_3 и τ_4 , которые в свою очередь, зависят от еще одной пары измеряемых величин. Это преобразование может осуществляться неоднократно, при этом после каждого такого преобразования сигнал представляет собой периодическую импульсную последовательность, каждый период которой состоит из набора интервалов времени τ_n^m , соответствующих интервалам времени между соседними фронтами импульсов, где m – порядковый номер преобразования, а n – индекс, указывающий на положение временного интервала времени от начала отсчета. Каждое дополнительное преобразование увеличивает количество измеряемых параметров на 2, а количество временных интервалов в импульсной последовательности – в 2 раза. Тогда, если результирующая импульсная последовательность сформирована в результате N преобразований, интервал τ_n^m на каждом этапе преобразования m можно восстановить по формуле:

$$\tau_n^m = \sum_{k=(n-1)2^{1+N-m}+1}^{n \cdot 2^{1+N-m}} \tau_k \quad (1)$$

где τ_k - длительности временных интервалов между фронтами в результирующей последовательности. Управление средним энергопотреблением удаленного модуля, в частности средним потреблением полупроводникового излучателя, осуществляется изменением скважности импульсов в результирующей последовательности. Скважность передаваемых импульсов регулируется соответствующим выбором элементов в каскадах преобразования и может составлять 100 и более. При скважности 100 среднее потребление тока (при импульсном токе через источник излучения 10 мА) не превысит 100мкА, что соответствует потребляемой мощности (при стандартном напряжении питания 3,3В) не более 350мкВт. При реализации предложенного алгоритма могут применяться стандартные цифровые CMOS-микросхемы (например CD4098), собственное потребление которых не превышает единиц микроампер. При увеличении скважности общее потребление модуля может быть снижено до уровня 30-100мкВт, что даже при низких значениях КПД фотопреобразователя (~5%) позволит работать в области взрывобезопасных мощностей оптического излучения.

Оценить максимальное число датчиков, информацию от которых можно передать с применением данного метода, можно с помощью формулы:

$$K_{\max} = 2M = 2 \log_2 \frac{T}{\Delta \cdot s} + 2, \quad (2)$$

где T - требуемая периодичность измерений, s - как скважность, Δ - минимальная длительность импульса, соответствующего логической «1», т.е. протеканию тока через излучатель. Эта длительность определяется аппаратными ограничениями применяемых электронных компонентов. Например, при $T=1$ с, $\Delta = 50$ нс и скважности $s=100$ (соответствующей среднему потреблению тока порядка 100мкА) получаем $K_{\max} \approx 36$. Это означает, что алгоритм не имеет практически значимых ограничений на количество датчиков, информация от которых может кодироваться в течении измерительного периода.

Во второй части третьей главы рассматривается двухканальная ГВОИС температуры ВДГ-2Та, изготовленная на базе четырехэлементного кремниевого преобразователя с широтно-импульсным кодированием и в котором в качестве чувствительных элементов применялись алмазные терморезисторы. Средняя потребляемая мощность удаленного модуля этой ГВОИС не превышала 300мкВт.

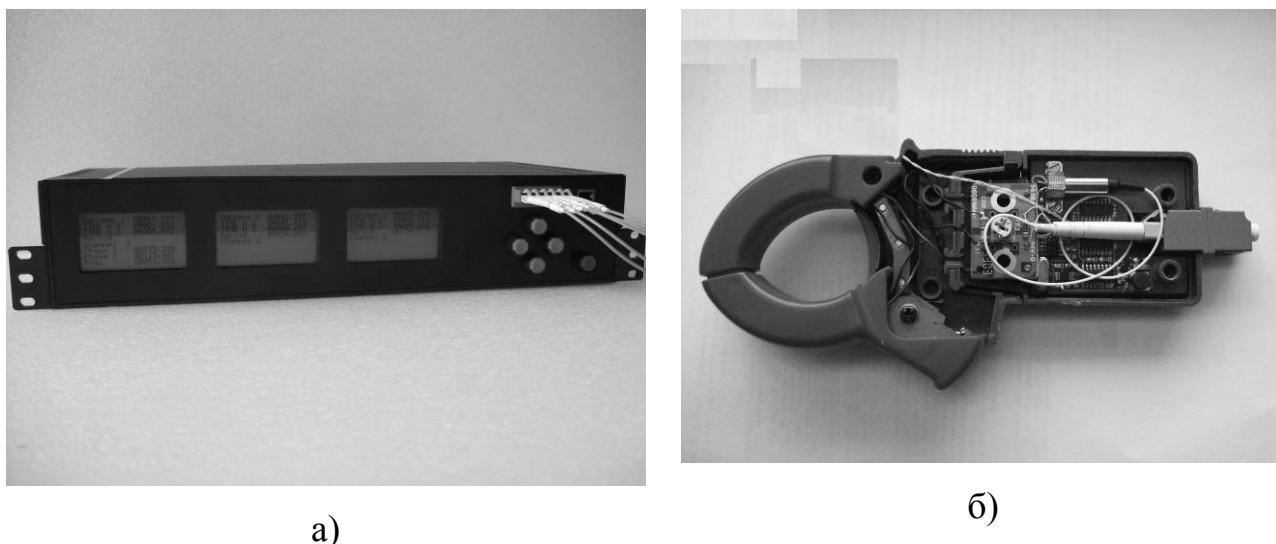


Рис.3. Многофункциональная ГВОИС тока
а – блок обработки; б – удаленный модуль

Третья часть третьей главы посвящена вопросам разработки и создания многофункциональной ГВОИС переменного электрического тока (Рис.3.), которая представляет собой трехканальную измерительную систему, предназначенную для измерения силы и частоты тока в каждом из каналов. Измеряется также температура проводника в каждом из каналов и относительные фазы сигналов в качестве межканального параметра. Такое сочетание измеряемых параметров стало возможным благодаря уникальному алгоритму обработки и кодирования измерительной информации. Этот алгоритм позволяет отказаться от применения микроконтроллеров, которые зачастую используются в подобных системах. Отказ от микроконтроллеров позволяет, во-первых, производить измерения относительной фазы сигналов т.к.

позволяет осуществлять синхронную передачу импульсных сигналов, фронты импульсов которых привязаны к моменту перехода через «ноль» измеряемого синусоидального сигнала. Во-вторых, отказ от применения микроконтроллеров позволяет значительно снизить энергопотребление удаленного модуля.

В этой части главы 3 также отмечена характерная особенность рассмотренных гибридных систем: их метрологические характеристики целиком и полностью определяются метрологическими характеристиками применяемых чувствительных элементов. Система кодирования-декодирования и обработки вносит дополнительную погрешность, которая мала по сравнению с погрешностями, вносимыми чувствительными элементами и, следовательно, исключается при расчетах конечных метрологических характеристик.

В третьей главе также предложен новый подход в создании волоконных датчиков углеводородных газов, использующие метод адсорбционной спектроскопии. Этот подход основан на преобразовании длины волны излучения, распространяющегося по волоконному световоду, в излучение с длиной волны, соответствующей фундаментальным линиям поглощения углеводородных газов (напр. 3,3 мкм – для метана). Этот метод защищен Патентом Российской Федерации. Наиболее эффективно этот подход реализуется в технологии ГВОИС, где преобразование длины волны излучения осуществляется в два этапа: вначале оптическое излучение преобразуется в электрическую мощность, затем электрическая мощность используется для питания светодиодного источника на длину волны 3,3 мкм. В отличие от различных высокотехнологичных оптических материалов для прямого преобразования длины волны излучения, эти светодиоды освоены современной промышленностью и доступны на рынке. Такие светодиоды могут также входить в состав оптопар (светодиод – двухканальный фоторезистор), специально предназначенных для адсорбционной спектроскопии газов.

В заключении приведены основные научные и практические результаты диссертационной работы:

1. Предложен принцип временного кодирования измерительной информации для гибридных оптоэлектронных измерительных систем, позволяющий реализовать многофункциональный или мультиплексный режим их работы при минимальном энергопотреблении.

2. Предложен принцип построения гибридных оптоэлектронных измерительных систем с использованием одной полупроводниковой структуры как для фотовольтаического преобразования оптического излучения, так и для электролюминесцентной генерации оптического информационного сигнала.

3. Исследованы особенности фотовольтаического преобразования излучения (эффективность, спектры) двойными гетероструктурами AlGaAs и связь спектров электролюминесценции и спектров фоточувствительности.

Определены структуры, обеспечивающие эффективность фотовольтаического преобразования 45-50% при напряжении холостого хода более 1,2В.

На основе данных структур реализованы стабилизированные источники питания гибридных оптоэлектронных измерительных систем с КПД около 25% и выходным напряжением 3,3В и 5В.

4. Разработана многофункциональная оптоэлектронная измерительная система для трехфазных сетей переменного тока.

5. Предложен принцип построения оптоэлектронного датчика углеводородных газов позволяющий при использовании стандартных кварцевых волокон реализовать принцип абсорбционной спектроскопии на основной (3,3 мкм) линии поглощения.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе три патента РФ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Задворнов С.А., Соколовский А.А. Двухканальный оптоэлектронный датчик температуры // Измерительная техника – 2004. - №11 – С.35-37 - ISSN 0368-1025
2. Пат. 39202 РФ, МПК 7 G 01 N 21/35. Волоконно-оптический датчик концентрации газов/ Соколовский А.А., Задворнов С.А. - N 2004107684/22; Заяв. 19.03.04; Оpubл. 20.07.04, Бюл. №20; Приоритет 19.03.04
3. Пат. 2265826 РФ, МПК 7 G 01 N 21/35. Волоконно-оптический датчик концентрации газов/ Соколовский А.А., Задворнов С.А. - N 2004104173/28; Заяв. 16.02.04; Оpubл. 27.07.05, Приоритет 16.02.04
4. Пат. 80558 РФ, МПК G01D 5/26. Волоконно-оптическая гибридная измерительная система/ Задворнов С.А., Соколовский А.А. N 2008141065/22; Заяв. 16.10.2008; Оpubл. 10.02.2009, Приоритет 16.10.08.
5. S.Zadvornov, A.Sokolovsky, Hybrid Fiber Optic Temperature Sensor Using Pulse Coding of Optical Sygnal // Proc. of 10th IMEKO TC7 International Symposium on Advances of Measurement Science: Vol.2/Editor: Muravyov S.V. - Saint-Petersburg, June 30-July 2 2004. - С.335-337
6. Задворнов С.А., Соколовский А.А. Гибридный волоконно-оптический датчик углеводородных сред //Тез. докл. XIV научно-технической конференции “Фотометрия и ее метрологическое обеспечение” - М.:ВНИИОФИ – 2004.- С.111-112
7. Задворнов С.А., Соколовский А.А. Гибридные волоконно-оптические датчики для измерения параметров технологических процессов //Тез. докл. XVI научно-технической конференции “Датчики и преобразователи систем измерения, контроля и управления”/ Под ред. проф. Азарова В.Н. - М.:МГИЭМ – 2004. - С. 138-139
8. Васильев М.Г., Васильев А.М., Задворнов С.А. Лазерные и фотодиодные модули для оптоволоконных систем, оптических сенсоров и оптического измерительного оборудования // Метрология и измерительная техника в связи -

2000. - №5 – С. 31-33

9. Задворнов С.А., Левин П.В. Измерители оптической мощности FOD-1204 // Метрология и измерительная техника в связи - 2000. - №1 – С. 45

10. Задворнов С. А., Соколовский А. А. О пожаровзрывобезопасности волоконно-оптических гибридных измерительных систем // Датчики и системы, № 3, 2007 – С. 11-13

11. S.Zadvornov, A.Sokolovsky, An Electro-Optic Hybrid Multifunctional Instrument for 3-Phase Current Measurements, // Proc. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, May 12-15, 2008, Victoria, Vancouver Island, British Columbia, Canada

12. S.Zadvornov, A.Sokolovsky, An Electro-Optic Hybrid Methane Sensor // 21st Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 4-7, 2008, Niagara Falls, Ontario, Canada

13. Задворнов С.А., Соколовский А.А. Гибридный оптоэлектронный датчик метана // 63-я научная сессия, посвященная Дню Радио, 14-15 мая 2008г.

14. Задворнов С.А., Соколовский А.А. Многофункциональный оптоэлектронный датчик тока // Всероссийская конференция по волоконной оптике, г.Пермь, 10-12 октября 2007 г.

15. Задворнов С.А., Соколовский А.А. Преобразователи свет-напряжение для питания гибридных волоконных датчиков // Всероссийская конференция по волоконной оптике, г. Пермь, 10-12 октября 2007 г.

16. A. Sokolovsky, M. Ryabko, S. Zadvornov, A Fiber Optic Hybrid Multifunctional AC Voltage Sensor, CIGRÉ Canada Conference on Power Systems, Winnipeg, October 19-21, 2008

17. Задворнов С.А., Соколовский А.А. Многофункциональная оптоэлектронная измерительная система для трехфазных сетей переменного тока. // Электротехника, № 4, 2009 – С. 47-51.

Задворнов Сергей Александрович

Гибридные оптоэлектронные датчики
с широтно-импульсным кодированием информации

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать «20» марта 2009г. . Формат бумаги 60*84 1/16.
Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №65

Отпечатано в типографии ЗАО «Диалог-Реклама»
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 24, тел (495) 665-0049