

3. Колесников А.А., Мушенко А.С. Синергетическое управление процессами пространственного движения летательных аппаратов // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2004. – № 2.
4. Курочкин Ф.П. Основы проектирования самолётов с вертикальным взлётом и посадкой. – М.: Машиностроение, 1970.
5. Попов А.Н. Синергетический синтез законов энергосберегающего управления электро-механическими системами. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2003.
6. Шайдаков В.И. Аэродинамика винта в кольце: Учебное пособие. – М.: Изд-во Московского авиационного института, 2006.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютиков.

Воронков Олег Юрьевич

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: voronkovoyu@mail.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: +78634318090.

Voronkov Oleg Yurievich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: voronkovoyu@mail.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634318090.

УДК 621.37

А.О. Киреев, А.В. Светлов

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ**

Ограниченные энергетические ресурсы беспроводных сенсорных сетей являются основным сдерживающим фактором их развития. Стандартные средства измерения не позволяют получить прецизионные количественные измерения энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей в реальном времени. Проведен анализ параметров энергопотребления беспроводных сенсорных сетей. Определена структура и схемотехническая реализация датчика тока с программным управлением. Разработана распределенная система энергетического мониторинга узлов беспроводных сенсорных сетей.

Распределенная система; энергопотребление; энергетический мониторинг; беспроводные сенсорные сети; датчик тока; управляемый измерительный резистор.

A.O. Kireev, A.V. Svetlov

**DISTRIBUTED SYSTEM OF ENERGY MONITORING FOR WIRELESS
SENSOR NETWORKS**

The finite energy resources are the principal constraint of wireless sensor networks. The standard electronic instrumentation can't get the precision quantitative real-time measurements of wireless sensor networks power consumption. The analysis of power consumption parameters for wireless sensor networks is performed. The structure of current sensor based on controlled instrument resistor is proposed. Distributed system of energy monitoring for wireless sensor networks is designed.

Distributed system; power consumption; energy monitoring; wireless sensor networks; current sensor; controlled current-sensing resistor.

Современные электронные системы становятся все более интеллектуальными, адаптивными к изменяющимся внешним факторам, способными к выполнению множества функций. Этому способствует как технологический прогресс в сфере производства полупроводников, так и все более сложное программное обеспечение, обеспечивающее «интеллектуальность» электроники. Беспроводные сенсорные сети (БСС) являются характерным примером систем, создание которых стало возможным благодаря новейшим разработкам в области интегральных схем (реализации «системы на кристалле»), а также написанию уникального программного кода, позволившего реализовывать сложные алгоритмы доступа к среде передачи данных и сетевые алгоритмы [1]. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в данной области, существенным и самым важным сдерживающим фактором остаются ограниченные энергетические ресурсы узла БСС, так как они опережают время жизни системы и, следовательно, ее коммерческую пригодность.

Особенности энергопотребления узла БСС. Технологические решения в области микроэлектроники предоставляют разработчикам инструменты для построения энергоэффективных БСС [2–4] и, учитывая данные положения, разработчики РЭА стремятся как можно более детально управлять энергетическими режимами работы устройств в реальном времени, что ведет к существенному усложнению программного кода. В связи с этим затруднен мониторинг и прогнозирование энергопотребления как отдельных узлов, так и системы в целом.

По своим функциям узел беспроводной сети адаптивен к параметрам окружающей среды и к параметрам объекта мониторинга. Кроме того, программное обеспечение узла должно обеспечивать обработку сложных сетевых протоколов. Таким образом, к особенностям энергопотребления узла БСС можно отнести следующие аспекты: широкий динамический диапазон токов потребления порядка 120 дБ (от ~1 мкА в режиме ожидания, до ~1 А в режиме передачи данных по радиоканалу), разнообразие энергетических режимов работы, малая длительность (менее 1 мс) нахождения в активных режимах, высокая расчетная продолжительность автономной работы (несколько лет). Следует отметить и тот факт, что смена режимов работы узла сети происходит динамически, десятки и сотни раз в секунду.

Таким образом, при проектировании БСС возникает необходимость проводить прецизионные количественные измерения энергопотребления в реальном времени. Существующие в настоящий момент стандартные средства измерения позволяют получить лишь косвенные, грубые оценки действительного значения энергопотребления узлов сенсорных систем. Использование в качестве датчика тока специализированных мультиметров (компаний National Instruments, Advantech и др.) нецелесообразно из-за высокой конечной стоимости изделия и невозможности реализовать распределенные системы мониторинга энергопотребления, работающие автономно в полевых условиях.

Структура измерительного узла распределенной системы мониторинга энергопотребления. Структурная схема измерительного узла ИИС для мониторинга энергопотребления БСС, основанная на разработанном оригинальном датчике тока с программным управлением, представлена на рис. 1.

Сигнал с датчика поступает на АЦП и далее подвергается цифровой обработке в вычислительном блоке, реализованном на базе низкопотребляющего микроконтроллера (МК). Программное обеспечение МК позволяет не только вычислять суммарную мощность, потребляемую устройством, но и производить анализ структуры энергопотребления, автоматически выделяя и рассчитывая параметры наиболее энергоемких режимов. На базе МК также реализованы функции калибровки датчика, динамического переключения и цифрового управления параметрами измерительных диапазонов. Блок ИОН содержит набор источников опорного напряжения, задающих диапазон измерения АЦП. В блоке стабилизации напряжения применены ли-

нейные стабилизаторы, обладающие высокой точностью и низким температурным коэффициентом, что нивелирует влияние пульсаций напряжения источника питания на конечную погрешность измерения. Использование датчика температуры ($-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$) позволяет повысить точность измерений за счет использования температурных компенсационных характеристик, полученных на этапе заводской калибровки датчика тока. Внешний интерфейс USB/RS-485/LAN необходим для связи с программной оболочкой на ПЭВМ, обеспечивающей развернутый анализ профиля энергопотребления и визуализацию результатов измерений.

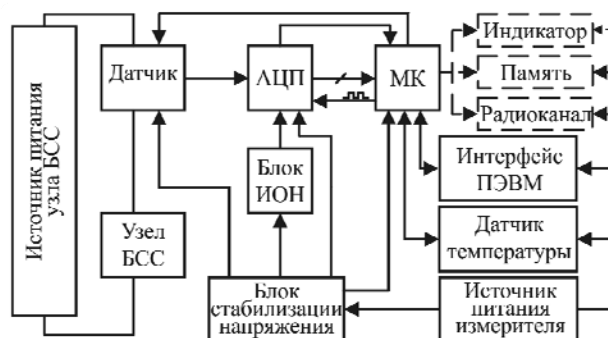


Рис. 1. Структурная схема узла информационно-измерительной системы мониторинга энергопотребления БСС

Наличие дополнительной памяти, индикатора и радиоканала (показаны пунктиром) определяется, исходя из условий измерения и мониторинга (лаборатория/полевые испытания) и необходимой длительностью автономной работы устройства.

Обобщенная структурная схема датчика тока представлена на рис. 2.

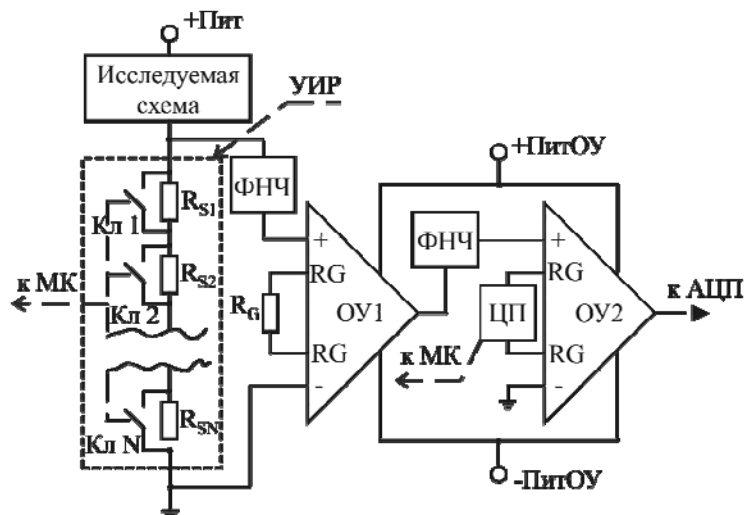


Рис. 2. Обобщенная структурная схема датчика тока: ОУ1, ОУ2 – операционные усилители; УИР – управляемый измерительный резистор; ФНЧ – фильтр нижних частот; R_G – резистор, определяющий коэффициент усиления 1-ого каскада; ЦП – цифровой потенциометр

При указанном широком динамическом диапазоне входного сигнала необходимо использование программно-управляемого коэффициента усиления. Сравнительный анализ [5] позволил сделать окончательный выбор в пользу микросхемы AD8221BR, фирмы Analog Devices (www.analog.com). Отличительной чертой данного ОУ является возможность менять значение коэффициента усиления (от 1 до 1000) в зависимости от номинала регулировочного резистора. Тем не менее диапазон $K_{ус} = 1...1000$ является недостаточным при динамическом диапазоне входного сигнала порядка 120 дБ и накладывает высокие требования к разрешающей способности последующего аналого-цифрового преобразователя. Для решения данной проблемы было предложено использовать управляемый измерительный резистор (УИР), реализованный с помощью набора прецизионных резисторов, переключаемых с помощью быстродействующих ключей с низким сопротивлением в замкнутом состоянии. В связи с отсутствием готовых ключей в интегральном исполнении с требуемыми характеристиками, были применены ключевые схемы на мощных полевых транзисторах, обладающих низким (например, для транзистора IRLU3717 фирмы IR $R_{сток-исток} = 4,6...5,5$ мОм) и стабильным сопротивлением сток-исток в открытом состоянии. Управление коэффициентом усиления ОУ2 осуществляется с использованием цифрового потенциометра. Учитывая изложенные выше особенности проектируемой системы, был выбран 10-разрядный цифровой потенциометр AD5293 фирмы Analog Devices, обладающий заявленной скоростью установки выходного напряжения < 4 мкс и точностью 1% в диапазоне сопротивлений ($\sim 7,4...100$ кОм), что является достаточным для решения поставленной задачи.

Принципы построения распределенной системы энергетического мониторинга БСС. Распределенная система мониторинга незаменима при оценке режимов энергопотребления беспроводной сенсорной сети в целом, когда необходимо получать информацию о десятках и сотнях измерений в реальном времени. В этом случае измерительную информацию после обработки узел БСС передает по радиоканалу на центральный узел. Вариант передачи информации непосредственно через сам исследуемый объект, помимо очевидных преимуществ (упрощение реализации ИИС и снижение ее себестоимости) имеет ряд недостатков. Прежде всего, это влияние средства измерения на исследуемый объект, так как узлу БСС приходится затрачивать энергию на обмен с ИИС, формирование информативного сообщения и передачу его по радиоканалу.

Учитывая сложность объекта мониторинга, распределенная ИИС должна удовлетворять практически всем тем требованиям, которые предъявляются к БСС. Допустимым являются повышенные массогабаритные показатели и сниженное время автономной работы (в пределах нескольких десятков суток). Рассмотрим общие принципы построения радиосистемы передачи информации (РСПИ) для распределенной ИИС согласно модели взаимодействия открытых систем.

Физический уровень РСПИ построен на интегральных однокристалльных решениях в безлицензируемом диапазоне частот 433 МГц. Однокристалльные решения позволили увеличить срок автономной работы системы, а выбор более низкой частоты, чем для разрешенной БСС ZigBee (2,4 ГГц), обусловлен лучшим распространением радиоволн данного диапазона в полевых условиях.

Протокол доступа к среде передачи данных (MAC-уровень) базируется на оригинальной модификации принципов CSMA/SA (доступа с обнаружением несущей и предотвращением коллизий) и использованием синхронизации доступа к радиоканалу. В режиме ведущего узел излучает синхромаяки (BNT) для своих ведомых устройств и принимает синхромаяки (BNR) от старшего по иерархии узла. Во время первого интервала (RTS) предоставляется доступ на конкурентной осно-

ве в соответствии с алгоритмом CSMA/CA. Во время второго интервала (ACK) ведущий узел назначает своим ведомым номера слотов гарантированного доступа. При этом устройство получает доступ во время закреплённого за ним временного интервала (GTS). Временная диаграмма работы узла измерительной системы приведена на рис. 3.

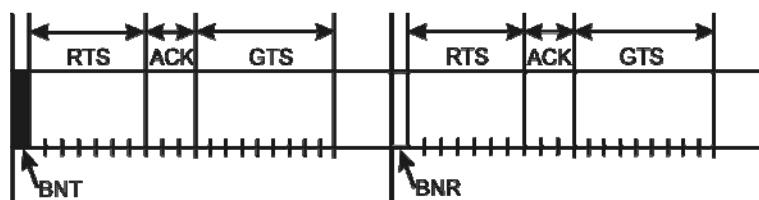


Рис. 3. Временная диаграмма работы узла распределенной ИИС

Учитывая жесткую временную синхронизацию в системе, параметры алгоритма CSMA/CA были модифицированы, путем замены первоначального прослушивания эфира с целью несущей на случайный, динамический выбор слотов запроса RTS. В случае отсутствия ответа от ведущего, попытка передачи возобновляется после приема следующего маяка в другом случайном слоте RTS.

Разработка сетевого протокола для распределенной ИИС базируется на топологии «кластерное дерево». Каждый кластер в системе работает на своей уникальной частоте, гарантируя отсутствие помех другим кластерам. Применение топологии типа «mesh» неоправданно, так как в данной РСПИ подразумевается только один центральный узел, обеспечивающий обработку измерительной информации. Основополагающим принципом в разработанной распределенной ИИС явился отказ от специализированных узлов-ретрансляторов. Каждый узел ИИС автоматически выполняет функцию ретрансляции измерительных пакетов, а также доставляет команды с центрального узла.

Введение механизмов динамической самоорганизации, реализуемых в РСПИ для ИИС, снимает с разработчика сложности по развертыванию и эксплуатации измерительной системы, и позволяет получить гибкий механизм для мониторинга и анализа энергопотребления БСС.

Для обеспечения возможности функционирования нескольких систем мониторинга энергопотребления БСС в одной области радиослышимости применены методы кодового разносения сигналов.

Источники питания для узлов распределенной ИИС выполнены на аккумуляторных батареях, учитывая небольшую требуемый срок автономной работы и многократность применения ИИС.

Проведен анализ параметров энергопотребления беспроводных сенсорных систем. Определена структура и схемотехническая реализация датчика тока с программным управлением. Рассмотрено построение распределенной системы энергетического мониторинга узлов БСС. Определены параметры РСПИ согласно модели взаимодействия открытых систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киреев А.О., Светлов А.В., Первуниных В.А. О выборе элементной базы беспроводной сенсорной сети охраны объектов // Инфокоммуникационные технологии. Т. 6. Спец. выпуск «Технологии безопасности и охраны». – 2008. – С. 38-42.
2. Мурашко И.А. Методы оценки рассеиваемой мощности в цифровых КМОП схемах // Доклады БГУИР. – 2007. – № 1. – С. 100-108.
3. Паттерсон Д., Диксон Д. Оптимизация потребления при разработке систем на цифровых сигнальных процессорах // Новости электроники. – 2007. – № 3. – С. 27-31.

4. Ultra low-Power Electronics and Design / Edited by Macii E. Dordrecht, 2004.
5. Киреев А.О., Светлов А.В. Исследование энергетических режимов работы автономных микромошных систем // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: Труды Междунар. науч.-техн. конф. «Шляндинские чтения – 2010». – Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. – С. 48-52.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.М. Белевцев.

Светлов Анатолий Вильевич
Пензенский государственный университет.
E-mail: rtech@pnzgu.ru.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел.: 88412563511.

Киреев Александр Олегович
E-mail: skao@pochta.ru.

Svetlov Anatoly Vil'evich
Penza State University.
E-mail: rtech@pnzgu.ru.
40, Khusnaya Street, Penza, 440026, Russia.
Phone: +78412563511.

Kireev Alexander Olegovich
E-mail: skao@pochta.ru.

УДК 681.3.06

А.И. Баранчиков, А.Ю. Громов

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ В ЧЕТВЕРТОЙ НОРМАЛЬНОЙ ФОРМЕ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Предлагается алгоритм построения схем реляционных баз данных на основе многозначных зависимостей, учитывающий атрибуты различной степени конфиденциальности. Он позволяет корректно проектировать схемы реляционных баз данных, содержащих информацию категоризируемую по признаку и степени конфиденциальности. В основе разработанного алгоритма лежит приведение переменных отношений к третьей нормальной форме и четвертой нормальной форме. Схемы баз данных, построенные таким образом, удовлетворяют особой разновидности четвертой нормальной формы. Проведена оценка временной сложности и сходимости алгоритма.

Реляционная; многозначная зависимость; конфиденциальность; синтез; атрибут.

A.I. Baranchikov, A.Yu. Gromov

CONSTRUCTING SCHEMES OF RELATIONAL DATABASES IN FOURTH NORMAL FORM FOR THE INFORMATION SYSTEMS WITH CONFIDENTIAL INFORMATION

The algorithm for constructing relational databases schemes based on multivalued dependencies is proposed; it takes into consideration confidentiality attributes of different levels. It allows you to design the scheme of relational databases properly containing categorized information on the feature and the degree of confidentiality. At the core of the algorithm is reduced variables relations to third normal form and fourth normal form. Database schema, constructed so, satisfy a special kind of fourth normal form. Time complexity assessment and algorithm convergence is provided.

Relational; multivalued dependency; confidentiality; synthesis; attribute.