

Разработка модуля беспроводной передачи телеметрических данных в диапазоне частот 2,4 ГГц

(часть 4)

Александр Алый (Москва)

Это завершающая статья цикла, посвящённого разработке беспроводного модуля для передачи данных. Автор описывает практические аспекты разработки и применения радиомодуля на основе микроконтроллеров серии MC1321x и с программным обеспечением, основывающимся на спецификации ZigBee.

СТРУКТУРА ПАКЕТОВ ZIGBEE

Структура пакетов стека ZigBee показана на рис. 5. Каждый уровень стека добавляет к данным свой заголовок со служебной информацией.

На рис. 5 представлена обобщённая структура пакетов при пересылке данных уровню приложения. Не все пакеты в сети должны доставлять данные до уровня приложения. И на уровне приложения пакеты могут доставляться с полезной нагрузкой APS кадра формата, отличного от показанного на рис. 5, например, при передаче MSG-сообщений.

При передаче пакета данных объём дополнительной служебной информации стека составляет 33 байта. При этом для данных уровня приложения в пакете остаётся 100 байт. При передаче атрибутов для их значений остаётся ещё меньше места, так как кадр KVP (key value pair), используемый при передаче атрибутов, дополнительно вводит множество служебных полей. Кадр KVP, в частности, используется уровнем ZDO стека.

Профили ZigBee

Благодаря профилям, создание приложения ZigBee фактически превращается из задачи программирования в задачу конфигурирования. Незначительный объём программирования требуется для модификации состояния или реакции на изменение состояния сигналов периферии и взаимное отражение этих действий (с определёнными переменными) в памяти, к которой имеет доступ стек ZigBee.

В спецификации ZigBee от 2003 г. определено три стандартных профиля: профиль автоматизации зданий, профиль автоматизации управления бытовым освещением и профиль управления оборудованием.

Спецификация допускает создание и сосуществование, наряду со стандартными, и частных профилей. Практически каждый изготовитель законченных модулей ZigBee пользуется этой возможностью. Идентификаторы всех существующих профилей должны быть уникальными, их назначением занимается альянс ZigBee.

Профили ZigBee вводят реалистичные ограничения на расширяемость сетей ZigBee и их структурное разнообразие. Например, в профиле автоматизации управления бытовым освещением (Home Controls-Lighting profile) введены следующие ограничения:

- максимальное число маршрутизаторов в сети – 6;
- максимальное число уровней в древовидной сетевой структуре – 5;
- максимальное число связей каждого узла с узлами более низкого уровня в древовидной структуре – 20.

Помимо определения конкретных характеристик сети, профиль включает описания устройства (device descriptions), идентификаторы кластеров (cluster identifiers) и определение типа используемого сервиса – сервис сообщений (MSG) или сервис пар ключ–значение (KVP).

Одно устройство ZigBee может поддерживать несколько профилей. Как минимум один профиль должен поддерживаться всегда – это профиль

для управления самим устройством ZigBee; номер этого профиля равен 0000, и номер конечной точки этого профиля равен 0. В конечной точке 0 больше не может быть никаких профилей, кроме профиля устройства ZigBee. За передачу другим узлам сети описателей, связанных с данным профилем, в устройстве отвечают процедуры (сервисы), реализованные в подуровне «объект устройства ZigBee (ZDO)».

Профиль «устройство ZigBee» содержит один описатель устройства, в котором перечислены идентификаторы поддерживаемых кластеров, совпадающие с идентификаторами примитивов, обрабатываемых подуровнем ZDO.

Профиль «устройство ZigBee» должен поддерживать следующие входные кластеры:

- `NWK_addr_req` – запрос 16-битного сетевого адреса удалённого устройства по его 64-битному адресу IEEE;
- `IEEE_addr_req` – запрос 64-битного адреса IEEE удалённого устройства по его 16-битному сетевому адресу;
- `Node_Desc_req` – запрос описателя узла (Node Descriptor) удалённого устройства по его 16-битному сетевому адресу;
- `Power_Desc_req` – запрос описателя энергорежима (Power Descriptor) удалённого устройства по его 16-битному сетевому адресу;
- `Simple_Desc_req` – запрос простого описателя (Simple Descriptor) удалённого устройства по его 16-битному сетевому адресу;
- `Active_EP_req` – запрос списка конечных точек удалённого устройства по его 16-битному сетевому адресу;
- `Match_Desc_req` – запрос поиска удалённого устройства, удовлетворяющего заданным критериям, среди которых находятся 16-битный адрес устройства, номер про-

Таблица 5. Структура описателя узла (Node descriptor)

№ поля	Имя поля описателя	Длина поля в битах	Возможные значения
1	Логический тип узла (Logical type)	3	0 – координатор 1 – маршрутизатор 2 – конечное устройство 3 – зарезервировано
2	Зарезервировано	5	
3	Частотный диапазон (Frequency band)	3	0 – 868...868,6 МГц 1 – зарезервировано 2 – 902...928 МГц 3 – 2400...2483,5 МГц 4 – зарезервировано
4	Зарезервировано	5	
5	Флаги возможностей узла для MAC-уровня (MAC capability flags)	8	1 – если устройство может стать координатором (бит 0) 1 – если устройство FFD, 0 – если устройство RFD (бит 1) 1 – если используется постоянный источник энергии (бит 2) 1 – если приёмник не выключается в режиме IDLE (бит 3) Зарезервировано (биты 4 и 5) 1 – если устройство поддерживает средства безопасности (бит 6) Зарезервировано (бит 7)
6	Код производителя (Manufacturer code)	16	Выдаётся альянсом ZigBee
7	Максимальный размер полезной нагрузки кадра APS (Maximum buffer size)	8	0 – 127
8	Максимальный размер передачи (Maximum transfer size)	16	Должен равняться 0. В текущей версии спецификации не используется

Таблица 6. Структура описателя Node power descriptor

Имя поля описателя	Длина поля в битах	Возможные значения
Текущий режим энергопотребления (Current power mode)	4	0 – приёмник постоянно включен 1 – приёмник включается периодически 2 – приёмник включается только по требованию 3 – зарезервировано
Доступные источники энергии (Available power sources)	4	0 – постоянный источник 1 – перезаряжаемый источник 2 – одноразовый источник 3 – зарезервировано
Текущий источник энергии (Current power source)	4	0 – постоянный источник 1 – перезаряжаемый источник 2 – одноразовый источник 3 – зарезервировано
Уровень заряда источника энергии (Current power source level)	4	0 – критический 1 – 33% 2 – 66% 3 – 100% 4 – 15 – зарезервировано

Таблица 7. Структура описателя Simple descriptor

Имя поля описателя	Длина поля в битах	Возможные значения
Номер конечной точки (Endpoint)	8	1 – 240
Идентификатор профиля (Application profile identifier)	16	Выдаётся альянсом ZigBee
Идентификатор описателя устройства (Application device identifier)	16	Выдаётся альянсом ZigBee
Версия описателя устройства (Application device version)	4	0
Флаги приложения (Application flags)	4	Для бита 0: 1 – если доступен комплексный описатель Для бита 1: 1 – если доступен пользовательский описатель Для битов 2 и 3: зарезервировано
Количество входных кластеров, поддерживаемых конечной точкой (Application input cluster count)	8	0 – 255
Список идентификаторов входных кластеров (Application input cluster list)	8*	
Количество выходных кластеров, поддерживаемых конечной точкой (Application output cluster count)	8	0 – 255
Список идентификаторов выходных кластеров (Application output cluster list)	8*	

* Счётчик выходного кластера

филя, списки входных и выходных кластеров;

- End_Device_Bind_req – запрос на связывание координатору сети;
- Bind_req – запрос на создание новой записи в таблице связывания (Binding Table) координатора;
- Unbind_req – запрос на удаление записи в таблице связывания (Binding Table) координатора.

Соответственно каждому запросу, профиль «устройство ZigBee» должен поддерживать и выходные кластеры, являющимися ответами на запросы.

Два описателя – описатель узла (Node descriptor) и описатель энергетических характеристик узла (Node power descriptor) – характеризуют устройство ZigBee в целом и не привязаны к какой-либо конечной точке. Каждый профиль в устройстве должен иметь как минимум один простой описатель (Simple descriptor). В табл. 5, 6 и 7 приведена информация о структуре всех обязательных описателей.

Технология связывания

Как дополнительную, но не обязательную возможность, спецификация ZigBee предлагает технологию связывания. Связывание (binding) позволяет двум или нескольким узлам в сети, содержащим один и тот же профиль, обмениваться информацией друг с другом, не зная сетевых адресов. Этот сервис значительно упрощает процесс установки и запуска приложений на базе сети ZigBee, поскольку при установке устройств, выполняющих определённые функции, не надо знать их адреса, а достаточно иметь данные о профиле и составе входных и выходных кластеров.

Например, устройство ZigBee, реализующее функцию выключателя, может быть связано с устройством ZigBee, управляющим подачей напряжения на осветительный прибор, если у них совпадают идентификатор профиля и состав списка кластеров. Причём у одного устройства список входных кластеров должен совпадать со списком выходных кластеров другого устройства. Тогда атрибуты, изменённые в выходном кластере одного устройства, будут переданы в атрибуты входного кластера другого устройства. В данном случае состояние выключателя будет

отражено через состояние осветительного прибора (включено/выключено).

В спецификации предполагается, что связывание инициируется внешним сигналом, например, нажатием кнопки на приборе. Причём кнопки должны быть нажаты на обоих связываемых приборах одновременно или с малым интервалом, поскольку процедура связывания автоматически обрывается по истечении определённого времени. Используя такой подход, можно связывать несколько приборов друг с другом в разных сочетаниях. Например, можно связать несколько радиокнопок с одним светильником или несколько светильников с одной радиокнопкой.

Связыванием занимается подуровень ZDO стека ZigBee. Информация о связях хранится в единой таблице связей на одном из маршрутизаторов или координаторе сети. Предусматривается удаление связывания по нажатию той же кнопки.

Следует отметить, что если используется технология связывания и таблица связывания поддерживается координатором, то путь прохождения сообщений повторяет путь при иерархической маршрутизации и необходимость в сеточной маршрутизации практически отпадает.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СТЕКА ZIGBEE

При программной реализации стека допустимы многие упрощения. Спецификация ZigBee не использует все возможности, предусмотренные в стандарте IEEE 802.15.4. В частности, в стандартных профилях не находит практического использования описанный в стандарте способ синхронизованного обмена, а также построенные на нём сети (beacon enabled networks). Поэтому официально разрешается пропускать обработку примитивов, связанных с этими сервисами.

При разработке собственного модуля можно упростить технологию криптографической защиты, например, оставив шифрование только на MAC-уровне, и не использовать узлы – так называемые центры доверия – для распределения ключей и аутентификации.

Как было указано выше, для простых сетей глубиной 3–4 уровня является спорной необходимостью в сеточ-

ной маршрутизации, и от неё можно отказаться.

В целом для микроконтроллера MC13213 размер упрощённого стека устройства типа FFD не превышает 35 Кб. В приложении к статье на сайте журнала можно найти промежуточный вариант проекта реализации стека ZigBee для аппаратной платформы на базе MC13213. Проект охватывает все уровни, от физического до уровня приложения. Фирма Freescale предлагает в виде библиотек собственную реализацию уровней MAC и PHY, но размер их облегченной версии составляет около 30 Кб.

ФУНКЦИИ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО МОДУЛЯ

Модуль способен управлять пятью нагрузками в сети переменного тока 220 В по командам, получаемым от других аналогичных радиомодулей в сети. Модуль может быть источником команд. Команды могут отправляться по нажатию кнопок, находящихся на модуле, или ретранслироваться с приёмника команд от пультов дистанционного управления, работающих в ИК-диапазоне, например, телевизионных пультов с кодировкой RC5. Сеть радиомодулей может быть сконфигурирована для работы в качестве беспроводного моста, чтобы управлять нагрузками вне пределов прямой видимости.

Модуль может быть переведён в режим маршрутизатора; тогда он выполняет функции радиоудлинителя в сети. Если между двумя модулями недостаточно надёжная связь или связь отсутствует, размещение между ними маршрутизатора поможет решить проблему. Если недостаточно одного маршрутизатора, устанавливается следующий, и т.д. Максимальное число маршрутизаторов ограничено возможностями программного обеспечения и в данной реализации не превышает шести.

При установке маршрутизатора не требуется никаких специальных действий, кроме подключения питания и оптимального размещения в пространстве.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА МОДУЛЯ

Ядром модуля является микросхема MC13213 (см. рис. б). Как указывалось в предыдущих статьях, микро-

схема состоит из двух функциональных частей: радиомодема и микроконтроллера. Микроконтроллер тактируется сигналом, поступающим с генератора радиомодема, который стабилизирован внешним кварцевым резонатором Z1.

Резонатор Z1 имеет собственную частоту 8 МГц; в микроконтроллере эта частота умножается до 40 МГц, частота шины микроконтроллера при этом становится 20 МГц. К резонатору Z1 предъявляются повышенные требования по стабильности – не более 10 ppm – и нагрузочной ёмкости – не более 10 пФ.

Элементы L1 и L4 являются гибридными керамическими многослойными согласователями (Chip Multilayer Hybrid Balun), преобразующими сбалансированную сигнальную линию радиомодема в несбалансированную линию для питания F-антенны.

Два согласователя вместо одного выбраны для обеспечения лучшей передачи мощности в выходном и входном трактах радиомодема, поскольку сопротивления последних имеют некоторые отличия. Элемент U3 является СВЧ-ключом, переключающим антенну с линии приёма на линию передачи.

F-антенна выполнена по рекомендации, описанной в документе AN2731 фирмы Freescale, с учётом нагрузки, вносимой пластиковым корпусом. В печатной плате вблизи резонатора антенны выполнен вырез трапециевидальной формы.

Программирование и отладка модуля производится через разъём X7.

Модуль питается от сети переменного тока 220 В; максимальный потребляемый ток составляет 70...80 мА.

Применённые для коммутации нагрузки семисторы Q1 – Q5 включаются при уровне напряжения около 2 В и токе 5 мА. Коммутируемый семисторами средний ток может составлять 4 А, но во избежание перегрева не стоит допускать ток более 2 А. Решается коммутация только активной нагрузки.

Резисторы R7 и R8 представляют собой делитель для измерения напряжения сети, что позволяет сделать на базе модуля плавный регулятор мощности в нагрузках.

Вид печатной платы модуля со стороны компонентов приведён на сайте журнала.

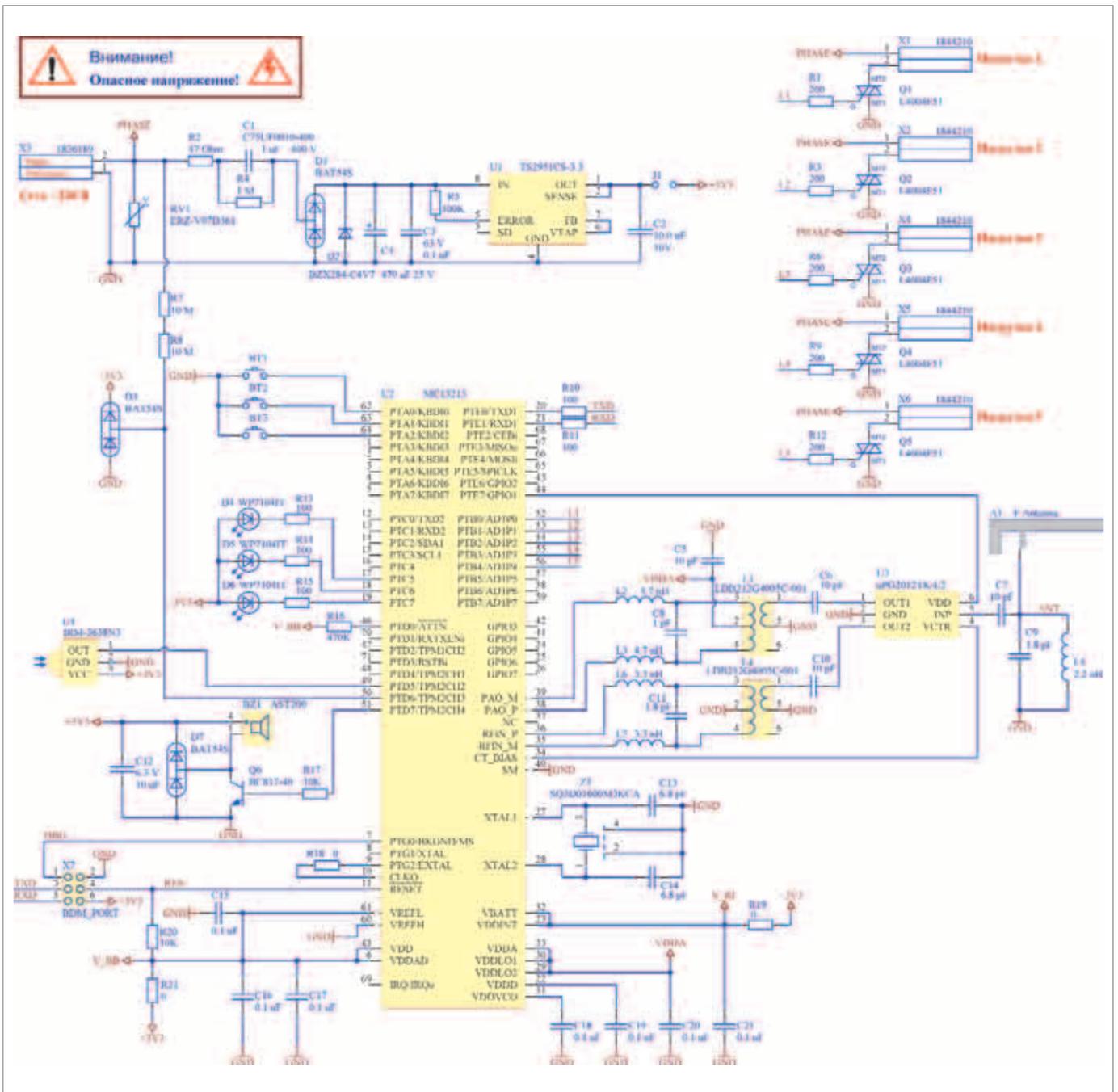


Рис. 6. Принципиальная схема демонстрационного модуля

ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ

На сайте фирмы Freescale можно найти документ AN2902 (MC1319x Range Performance) с результатами полевых тестов радиомодемов этой фирмы. Представленный в статье модуль имеет аналогичную схемотехнику и топологию антенны, поэтому результаты применимы и к нему.

В стандарте IEEE 802.15.4, приложение E, приведены рекомендации по оптимальному выбору частотных каналов ZigBee в условиях помех от сетей WiFi, работающих в стандарте IEEE 802.11b. Для европейской сетки частот это будут каналы 15, 16, 21 и 22, которые попадают в промежутки

частотных полос, занимаемых сетями WiFi. Ещё одним источником полезных рекомендаций является документ AN2935 (MC1319x Coexistence) фирмы Freescale.

На практике было установлено, что качество связи между модулями ZigBee очень сильно зависит от их положения в пространстве. Даже в радиусе менее 10 м, в помещении и на прямой видимости можно найти положение, когда связь между модулями ZigBee прерывается. На расстоянии более 15 м и в разных помещениях надо искать участки, где связь работает. При большом желании в помещении можно найти точки на

расстоянии 20 и более метров, где связь продолжает работать. На открытых пространствах тот же эффект повторяется на расстояниях 70...150 м. Пространственная периодичность областей затухания связи увеличивается с расстоянием, и если на 10 м она может составлять 20...30 см, то через 50 м она составляет примерно 1 м и более. Это относится к условиям, когда между модулями нет глухих препятствий в виде железных дверей или перегородок. Все приведённые цифры носят приблизительный характер и относятся к выходной мощности передатчика 3 дБм и чувствительности приёмника около -92 дБм.



Платы для разработки DC/DC-преобразователей

Фирма Vicor предлагает семейство продуктов с 52 оценочными платами для FPA-технологии (Factorized Power Architecture), которые содержат VI-Chip-компоненты серий BCM, PRM и VTM. Дополнительно Vicor расширила библиотеку прикладных инструкций для VI-чипов. В настоящее время имеется четыре платы неизолированных регуляторов и 13 VTM-плат. С выбором PRM-платы определяется диапазон входных напряжений, а подключаемая затем VTM-плата выдаёт нужное выходное напряжение и требуемый ток. Обе они позволяют пользователю ознакомиться с возможностями регулирования по технологии FPA и составить об этом представление. Предлагается 14 различных оценочных плат для BCM-конверторов с номинальным входным напряжением 48 В и жёсткой передаточной функцией для выработки выходного напряжения от 1,5 до 48 В, а также высоковольтная версия с номинальным входным напряжением 352 и 384 В.

Дополнительно была разработана 21 оценочная плата BCM с расположением контактов по стандарту Quarter-Brick, для того чтобы проверять их работу в качестве конвертора в приложениях мощностью от 300 до 600 Вт. Платы имеют тест-панельки, подстроечные потенциометры, а также соответствующие входные и выходные разъёмы.

www.vicr.com

DC/DC-модули стандарта Quarter-Brick

Фирма Ericsson Power Modules расширяет своё предложение DC/DC-модулей серии PKM-E тремя моделями. Речь идет о PKM4515ZE PI с входным напряжением 48 В и выходом 24 В, 2,1 А и выходной мощностью 50 Вт, PKM4619E PI с входным напряжением 48 В и выходом 2,5 В, 25 А и выходной мощностью 62,5 Вт и PKM4810E PI с входным напряжением 48 В и выходом 3,3 В, 25 А и выходной мощностью 82,5 Вт. PKM4515ZE PI предназначен для вентиляторов, нагнетателей и Fan Trays, т.е. для вставных блоков, которые содержат несколько вентиляторов внутри электронного шкафа (Rack). КПД модулей составляет 92% при половинной нагрузке. Они работают в диапазоне входных напряжений 36...75 В. Модули имеют дистанционное включение/выключение, под-



стройку выходного напряжения, дистанционный опрос, защиту от перегрузки, перенапряжения и перегрева. Все элементы в серии PKM-E смонтированы с одной стороны. Серия является Quarter-Brick-платформой Ericsson без несущей платы. Это даёт возможность пользователям просто заменять существующие Quarter-Brick-модули модулями серии PKM-E, что соответствует инструкциям RoHS. При монтажной высоте 8,5 мм платформа пригодна для приложений с небольшой высотой профиля. Опционально предлагается радиатор.

www.ericsson.com

Nemoptic начала поставки «негаснущих» экранов

Французская компания Nemoptic объявила о начале поставок прототипов ЖК-экранов, произведённых с использованием новой технологии BiNem (Bistable Nematic). Элементы BiNem-экрана могут оставаться в одном из двух стабильных состояний без потребления энергии так долго, как того требуют условия. Поэтому главной целью разработчиков является создание одного из вариантов так называемой «электронной бумаги», которая обеспечивает пользователю контрастный текст, читаемый под широкими углами.

На данный момент компания предлагает производителям набор BiNem Display HVGA (BK2301), содержащий 4,8-дюймовый чёрно-белый экран с разрешением 129 точек на дюйм (320 × 480 пикселей) по цене \$390. Экраны можно использовать при создании недорогих электронных складских этикеток, электронных книг, мобильных телефонов или становящихся всё более популярными «вторых экранов» для ноутбуков и настольных компьютеров, поддерживающих технологию Windows Vista SideShow.

Кроме упомянутого набора BK2301, Nemoptic в скором времени выпустит ещё две модели BiNem-экранов: BK2101 (3,06 дюйма; 64 × 240 пикселей) и BK2201 (2,7 дюйма; QVGA).

eetimes.com

Ультранизкополосный векторный анализатор сигналов

Agilent Technologies представил измерительную систему, оптимизированную для анализа широкополосных сигналов в сфере телекоммуникаций, требующих анализа, выходящего за пределы возможностей традиционных анализаторов спектра. Новая сверхширокополосная (UWB) система анализа векторных сигналов VSA80000A осуществляет прецизионные измерения сигналов в полосе частот до 13 ГГц. Технология UWB позволяет перейти от основанного на кабелях интерфейса USB к беспроводному USB, обладающему повышенной гибкостью. Эта технология первоначально использовалась в аэрокосмической и оборонной отраслях для таких приложений, как широкополосные радары и спутниковая связь, а теперь нашла своё коммерческое использование в беспроводной связи на коротких расстояниях и беспроводных сетях.



UWB довольно сильно отличается от существующих стандартов сотовой и беспроводной связи, которые основаны на узком спектре частот для приёма и передачи данных. Традиционный анализатор спектра является оптимальным решением для тестирования таких стандартов, т.к. обеспечивает динамический диапазон, превышающий 80 дБ в полосе 80 МГц или ещё более узкой. В системах на базе UWB данные передаются в широком частотном диапазоне с более узким амплитудным диапазоном. В этой ситуации лучшее средство для тестирования – осциллограф, так как он обладает большой полосой анализа (до 13 ГГц) со свободным от паразитных составляющих динамическим диапазоном, большим или равным 40 дБ.

Векторный анализатор сигналов UWB VSA80000A от Agilent создан на базе осциллографов Agilent Infiniium, захватывающих сигналы до 13 ГГц, и ПО анализа векторных сигналов 89601A, измеряющего параметры модулированных сигналов.

www.agilent.com