

# АНАЛИЗ РАДИОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ



Современный уровень развития радиочастотных (РЧ) технологий диктует новые требования к средствам измерений, применяемым для разработки, отладки и производства устройств, где эти технологии используются. Необходимо проводить измерения и анализ сигналов, которые занимают полосы частот до нескольких гигагерц и спектр которых существенно изменяется во времени. Автор рассматривает ряд характерных проблем, возникающих в рамках таких задач, и возможности современной аппаратуры для их решения.

Сегодня радиочастотные технологии проникают практически во все области современной жизни и, как следствие, существенно уплотняется радиочастотный спектр. РЧ-спектр становится все более дорогим и все менее доступным ресурсом. Это привело к необходимости высокоэффективного и правильного использования выделенных участков спектра. Данная проблема особенно остро стоит перед разработчиками коммерческих систем связи и передачи данных. Еще в 40-х годах прошлого века К.Шеннон в своей работе "Математическая теория связи" [1] показал, что увеличение пропускной способности каналов связи может быть достигнуто как за счет расширения полосы частот, занимаемой сигналом, так и за счет применения сложных видов модуляции, в частности цифровой. Оба этих метода сегодня применяются. Однако оказалось, что их использование ограничено отсутствием необходимых средств измерений. Современные РЧ-сигналы передаются пакетами, могут носить ярко выраженный импульсный характер, изменять вид модуляции в зависимости от состояния канала связи. В результате спектральные характеристики таких сигналов изменяются во времени. Это существенно ограничивает или делает невозможным применение традиционных для разработчиков РЧ-аппаратуры средств измерений, в частности традиционных анализаторов спектра (АС) и генераторов сигналов (ГС). Более того, с такими же проблемами сталкиваются и надзирающие органы, которым нередко трудно обнаружить и идентифицировать источники импульсных помех.

А.Матвиенко  
andrei.matvienko@tektronix.com

Для иллюстрации приведем пример. Одна из российских компаний разработала двухстороннюю систему автоматической передачи данных для газовой компании на основе РЧ-интерфейса ZigBee [2]. Опытные экземпляры изделия были отосланы в Германию для проверки на соответствие стандарту. Ответ из испытательной лаборатории был отрицательным – изделие не прошло проверку по причине "больших гармонических искажений" (рис.1).

Разработчики тщательно искали возможные нелинейности, но безрезультатно. На поиски было затрачено много времени – свыше недели. Более того, с помощью имеющегося у разработчиков анализатора спектра была получена картинка (рис.2), которая существенно отличалась от присланной из испытательной лаборатории – на ней не было "лишних" максимумов по бокам от основной гармоники. Разработчики зашли в тупик и обратились к автору с просьбой о помощи. Анализ имеющихся материалов навел на мысль, что разница в полученных изображениях спектра вызвана тем, что они зафиксированы на разных учас-

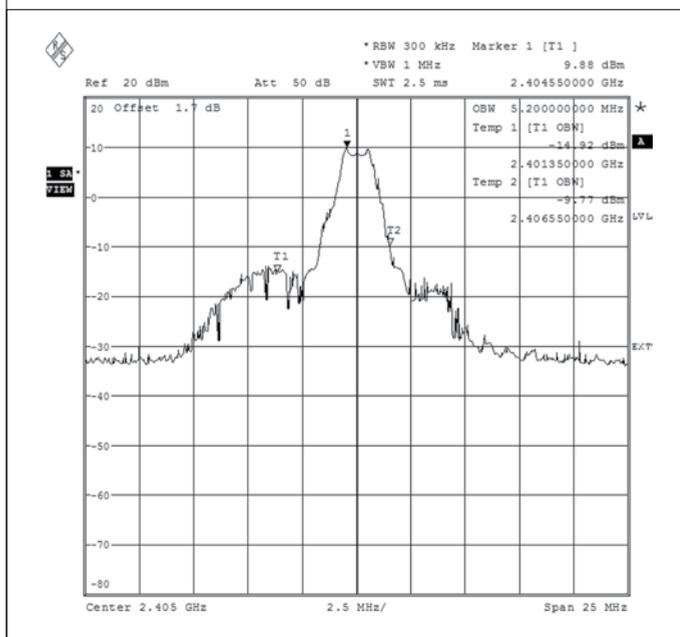
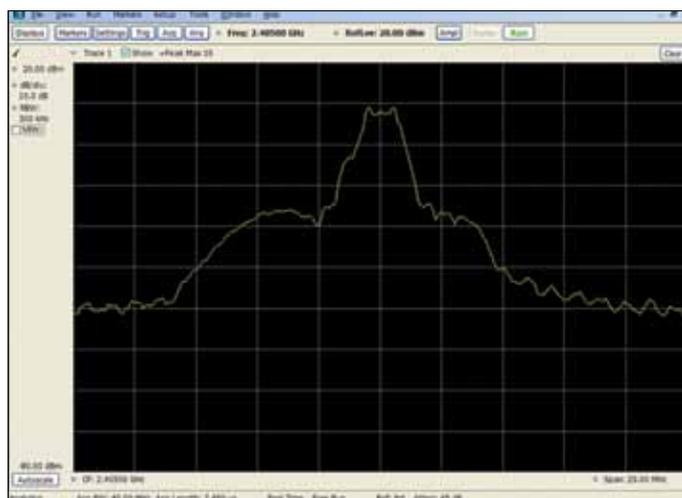
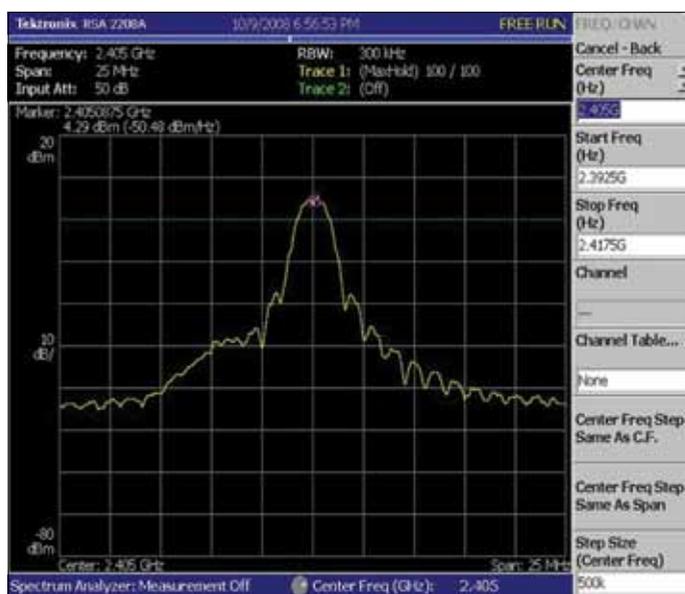


Рис. 1. Спектр, полученный из испытательной лаборатории

тках сигнала, поскольку сигнал ZigBee передается пакетами. Для обнаружения и идентификации источника проблем автор применил анализатор спектра реального времени Tektronix RSA6114A. Для начала нужно было понять, почему изображения спектра так отличаются друг от друга. В испытательной лаборатории в Германии использовался традиционный анализатор спектра в режиме пик-детектора. Поэтому RSA6114A был включен в режиме обычного AC с пик-детектором. После примерно пяти минут накопления изображение на экране RSA практически совпало с изображением, полученным из Германии (рис.3). Однако этот факт не продвинул нас в поиске источника проблем ни на шаг. Все дело в том, что традиционный AC отображает спектр одной кривой, соответствующей максимальной мощности в заданной полосе частот, и не позволяет судить о временной структуре спектра (изменении спектра во времени). Для отображения временной структуры спектра идеаль-



**Рис.3. Спектр, полученный с помощью RSA6114A, включенного в режиме накопления**



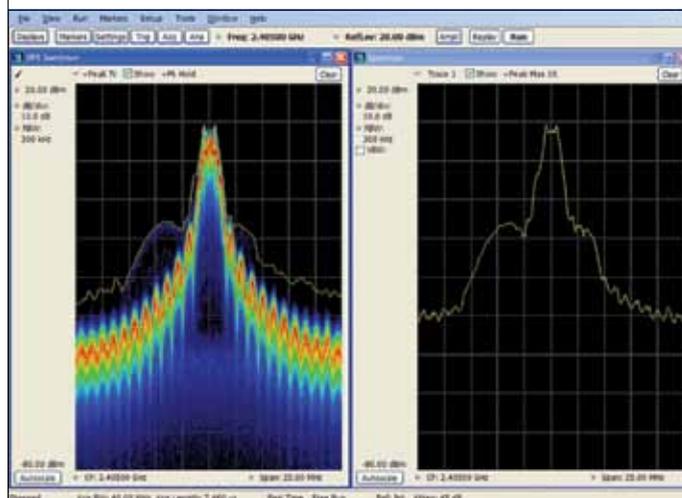
**Рис.2. Спектр, полученный разработчиками**

но подходит система отображения спектральной информации DPX, которая входит в состав программного обеспечения анализатора спектра Tektronix RSA6114A. Она дает возможность выводить на экран монитора гистограмму, построенную на основе множества спектров, полученных в различные моменты времени (рис.4, слева). Цвет на этой гистограмме характеризует число появлений того или иного спектра в единицу времени (синий цвет – минимальное число, красный – максимальное).

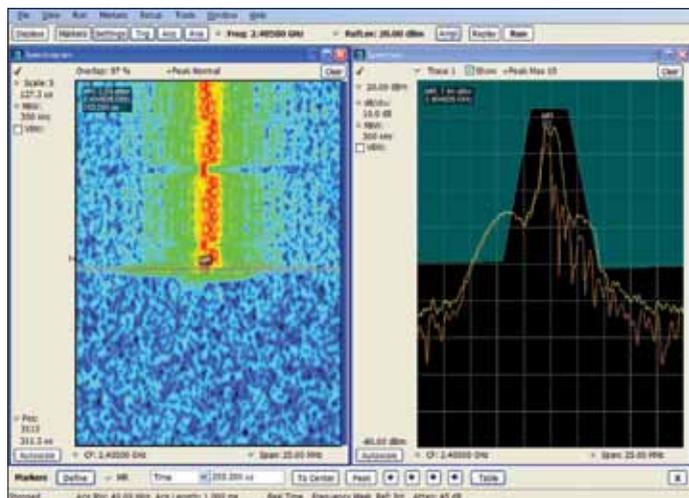
При этом если традиционный AC способен обновлять изображение спектра не чаще 100 раз в секунду, то RSA6114A делает это более 48000 раз в секунду! При включении режима DPX (см. рис.4), стало ясно, что в основное время спектр сигнала соответствует требованиям стандарта, однако на спектр полезного сигнала наложен спектр помехи, которая присутствует не постоянно. Чтобы опреде-

лить момент возникновения помехи, можно использовать еще одну уникальную функцию анализаторов спектра RSA – запуск по частотной маске (FMT – Frequency Mask Trigger [3]). С ее помощью можно фиксировать момент, когда изменяющийся во времени спектр сигнала заходит в область, ограниченную маской. Частотная маска может строиться как в графическом, так и в табличном виде, в ручном или автоматическом режимах. Была построена частотная маска для изучаемого сигнала (рис.5, справа – область, выделенная зеленоватым цветом), и после запуска AC было обнаружено, что момент появления помехи четко совпадает с моментом выключения радиочасти. Это отображалось и на спектрограмме (левая часть экрана на рис.5, точка "T").

Особенности архитектуры анализаторов RSA позволяют проводить коррелированный мультидоменный анализ сигналов, поэтому помеху можно исследовать не только в частотной, но и во временной области (рис.6). На фронте выключения была обнаружена ступенька, которая отсутствовала в момент включения радиочасти. Очевидно, что в момент вы-



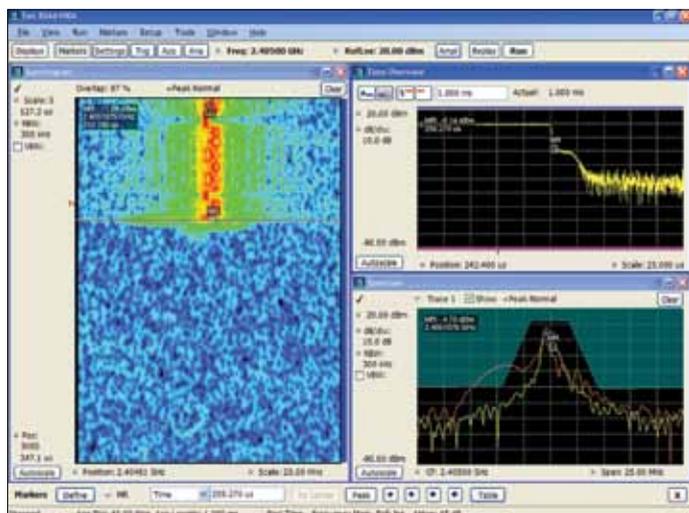
**Рис.4. Спектр DPX. Отображается регулярный спектр сигнала и спектр импульсной помехи**



**Рис.5. Определение момента появления помехи с помощью запуска по частотной маске (FMT)**

ключения имел место какой-то процесс. Дальнейшая отладка с помощью АС вряд ли могла дать результат по причине относительно низкого разрешения RSA по времени (не более 20 мкс). Поэтому для последующей отладки был применен цифровой запоминающий осциллограф DPX DPO70804. В настоящее время осциллографы серии Tektronix DPO/DSA70000 являются самыми высокочастотными осциллографами реального времени из представленных на мировом рынке. Полоса пропускания осциллографов DPO/DSA72004 достигает 20 ГГц при скорости дискретизации до 50 Гвыб/с по всем четырем каналам, поэтому анализ сигналов исследуемого устройства не вызвал проблем. После захвата пакета стало ясно, что имеет место коммутационная помеха (рис.7), вызванная, по всей видимости, перекрестными помехами. Это впоследствии и подтвердилось – разводка печатной платы оказалась неудачной. После внесения необходимых изменений устройство заработало нормально.

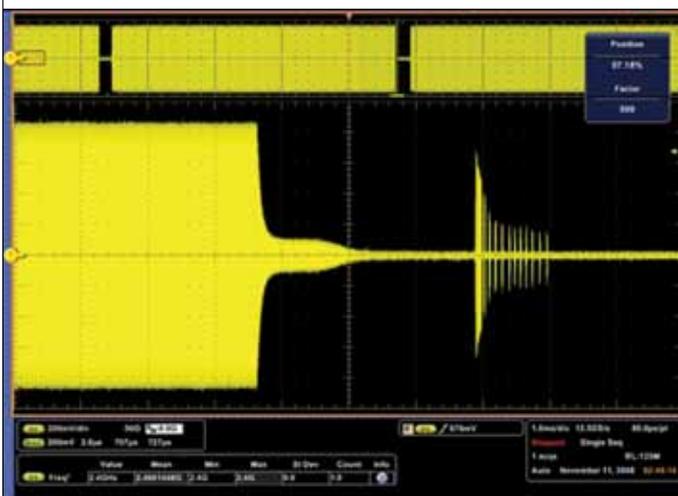
На обнаружение и идентификацию неисправности автор затратил не более часа. Какие же технологии сделали



**Рис.6. Синхронный анализ сигнала в частотной и временной областях**

возможной такую экономию времени? Это современные технологии, примененные при разработке анализаторов спектра реального времени серий RSA6100A и RSA3000B, а именно – непрерывная запись данных во временной области в полосе частот до 110 МГц в диапазоне частот до 14 ГГц (RSA6100A); получение более чем 48000 спектров в секунду и их отображение с помощью системы DPX; система запуска по частотной маске FMT; возможность сохранения данных во временной и частотных областях с последующей их многократной обработкой; а также синхронный мультидоменный анализ.

Однако трудности разработчиков не ограничиваются описанными проблемами. В военной и коммерческой РЧ-электронике все чаще применяют сверхширокополосные (СШП) технологии. Сейчас бурно развивается целый ряд СШП-технологий – таких, как, например, WiMedia [4], СШП-связь (шумоподобные РЧ-сигналы), георадары, радары для

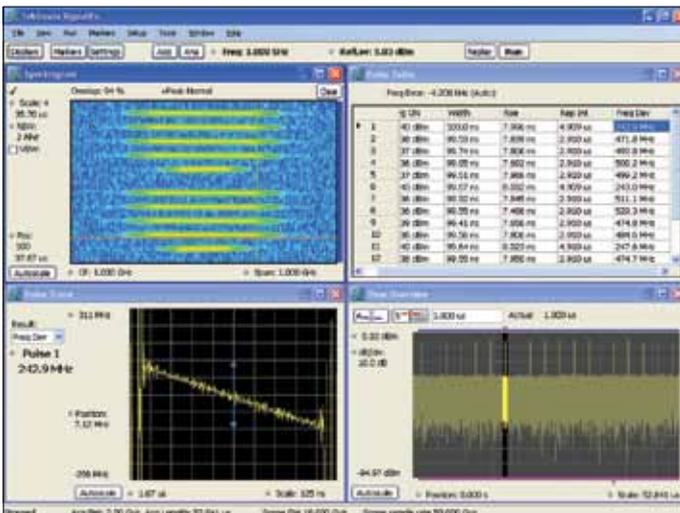


**Рис.7. Захват и идентификация импульсной помехи с помощью цифрового запоминающего осциллографа**

наблюдения обстановки в помещениях сквозь стены и т.п. И здесь для решения возникающих задач доступные средства измерений неприменимы. Например, сигнал WiMedia может занимать полосу частот  $528 \text{ МГц} \times 3 = 1584 \text{ МГц}$ . Ни один из существующих традиционных АС не обеспечивает отображение спектра таких сигналов – АС реального времени имеют полосу анализа не более 120 МГц. Как же решить проблему? Как ни странно, решение лежит в области осциллографии. Как отмечалось выше, самый высокочастотный осциллограф реального времени имеет полосу пропускания 20 ГГц. С помощью специального программного обеспечения для векторного анализа сигналов, например SignalVu [5] компании Tektronix, можно получить полосу анализа, соответствующую полосе пропускания осциллографа (для осциллографа DPO/DSA72004B – 20 ГГц). Этого вполне достаточно для практически любых современных СШП-приложений. По функциональности пакет программ SignalVu практически полностью соответствует возможностям про-



**Рис.8. Синхронный мультидоменный анализ СШП-сигнала с модуляцией QAM16 и скоростью потока 312,5 Мсим/с. Сигнал занимает полосу примерно 500 МГц**



**Рис.9. Анализ последовательности радарных импульсов с помощью программного обеспечения SignalVu**

граммного обеспечения AC серии RSA6100A, за исключением аппаратных функций, таких как DPX и запуск по частотной маске. С помощью этого пакета можно выполнять мультидоменный синхронный анализ СШП-сигнала (рис.8). Сигнал отображается синхронно в виде спектра, констелляционной диаграммы, амплитуды вектора ошибки, распределения вектора ошибки по времени и других параметров. Курсор, помещенный в любом домене, будет синхронно перемещаться в остальных доменах. Эта возможность позволяет, например, легко оценить качество модуляции и определить проблемы, связанные с модулятором.

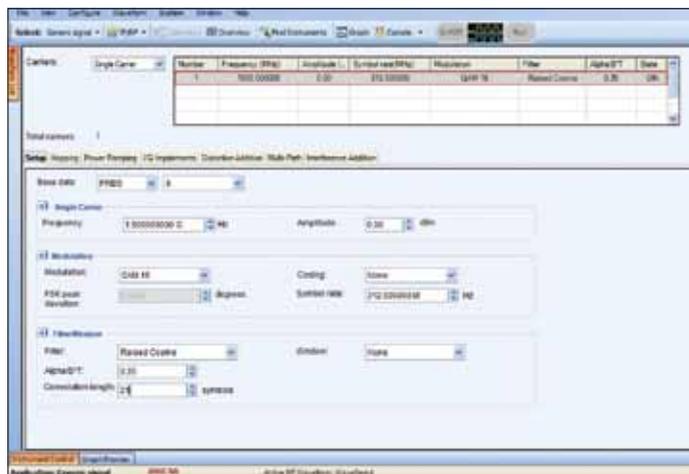
Не меньший интерес для разработчиков радарной техники представляет пакет программ для анализа и определения статистических характеристик больших последовательностей радарных импульсов, который опционально поставляется в составе программного обеспечения анализаторов серии RSA6100A, а также пакета программ SignalVu. Параметры сиг-

налов в этом пакете отображаются одновременно в виде временной последовательности импульсов, таблицы измерений, графика изменения частоты внутри импульса (линейная частотная модуляция – ЛЧМ) и спектрограммы (рис.9). При этом длительность импульсов может составлять 50 нс, а количество импульсов в последовательности доходить до 10000.

Для разработки и отладки современных РЧ-устройств необходимы не только развитые средства анализа сигналов, но и источники таких сигналов. Речь идет о генерации сигналов, изменяющих свои частотные свойства во времени, сигналов с цифровой модуляцией, СШП-сигналов, радарных сигналов и т.п. Традиционные технологии требуют, чтобы для генерации подобных сигналов задействовались приборы, использование которых имеет целый ряд существенных ограничений, требует большого количества дополнительного оборудования и создает большие проблемы во время эксплуатации. Например, для получения сигналов с цифровой модуляцией обычно применяют комплект, состоящий из векторного генератора, IQ-модулятора и конвертора с повышением частоты. При этом имеются ограничения по полосе частот генерируемого сигнала, например 2 ГГц. Для решения этой и целого ряда других проблем Tektronix предлагает серию генераторов сигналов произвольной формы AWG7000B, построенных с использованием последних достижений в области прямого цифрового синтеза сигналов. Старшая модель этой серии – генератор AWG7122B (рис.10) – имеет тактовую частоту цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) 24 ГГц. Это позволяет генерировать сигналы, занимающие полосу частот от постоянного тока до 9,6 ГГц. Генератор может использоваться в режимах функционального генератора, если нужно получить стандартные сигналы, и генератора сигналов произвольной формы. Способов получения сигналов произвольной формы много – от простого графического задания сигнала, использования математической модели сигнала и опционального программного обеспечения для генерации идеальных сигналов до генерации реальных сигналов, полученных, например, в результате натурального эксперимента и зафиксированных с помощью осциллографа. Программное обеспечение этих генераторов позволяет без особых сложностей получать



**Рис.10. Генератор сигналов AWG7122B**



**Рис. 11. Задание параметров сигнала с цифровой модуляцией в программном обеспечении RFXpress (мультидоменное отображение этого сигнала осциллографом DPO72004B с программным обеспечением SignalVu показано на рис.8)**

сигналы с различными видами цифровой модуляции, СШП-сигналы и радарные сигналы. С помощью этого программного обеспечения можно задавать центральную частоту и

амплитуду сигнала, вид модуляции, скорость и тип модулирующего потока и другие параметры (рис.11).

Таким образом, предлагаемый компанией Tektronix набор средств измерительной техники позволяет решать задачи анализа сигналов для самых разных РЧ-устройств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Shannon C. A mathematical theory of communication. – The Bell System Technical Journal, 1948, v.27.
2. Jennic's ZigBee e-learning Course. – [www.jennic.com/elearning/zigbee/index.htm](http://www.jennic.com/elearning/zigbee/index.htm)
3. Application note, Troubleshooting and Characterizing Wide Band RF Systems Using a Real-Time Spectrum Analyzer. – [www2.tek.com/cmsreplive/tirep/4544/37W\\_19560\\_1\\_2008.11.03.10.08.18\\_4544\\_EN.pdf](http://www2.tek.com/cmsreplive/tirep/4544/37W_19560_1_2008.11.03.10.08.18_4544_EN.pdf)
4. Сайт альянса WiMedia. – [www.wimedia.org](http://www.wimedia.org).
5. Vector Signal Analysis Software SignalVu, Data sheet. – [www2.tek.com/cmsreplive/psrep/14407/37W\\_22314\\_0\\_2008.10.27.11.59.09\\_14407\\_EN.pdf](http://www2.tek.com/cmsreplive/psrep/14407/37W_22314_0_2008.10.27.11.59.09_14407_EN.pdf)

## И "ЭкспоЭлектроника" и "ЭлектронТехЭкспо" 2009 – могло быть и хуже

С 13 по 16 апреля в Москве, в МВЦ "Крокус-Экспо", прошли крупнейшие выставки электронной промышленности в России и Восточной Европе – "ЭкспоЭлектроника" и "ЭлектронТехЭкспо". По традиции они были организованы при поддержке Министерства промышленности и торговли РФ, Федерального агентства по науке и инновациям, Департамента радиоэлектронной промышленности, Федерального фонда развития электронной техники и ОАО "Российская электроника". Выставки собрали 406 компаний из 22 стран мира, более 18,6 тыс. специалистов из 57 субъектов РФ и 23 стран мира. По заявлению организаторов, "результаты выставок превзошли ожидания большинства участников, которые отметили возросший интерес посетителей к предлагаемой продукции". К сожалению, это утверждение более чем сомнительное. Выставка выглядела откровенно пустой как по числу участников, так и посетителей. Нет оснований не доверять официальным данным организаторов, но по нашим сведениям, число посетителей отдельных стендов по сравнению с прошлым годом снизилось в три раза. "Я никогда не участвовал в столь пустой выставке" – увы, это мнение не одного экспонента. А то, что это было две выставки, а не одна, почти никто и не заметил. С другой стороны, в кризис тяжело было ожидать иного. Но в таких условиях могли бы свои финансовые аппетиты уменьшить организаторы. Их антикризисная мера заключалась в сохранении цен в евро. А как вам нравится запрет использовать собственные видеомониторы на стендах? Организаторы предлагали ЖК-мониторы в аренду, причем цены

аренды были, мягко говоря, сопоставимы с ценой аналогичной панели в магазине. Понятно желание заработать и в кризис, но все же... Однако хватит о грустном.

Открывал выставку круглый стол "Стратегия развития радиоэлектронной отрасли до 2015 г.", организованный ООО "Примэкспо" и Российской Ассоциацией производителей электронной аппаратуры и приборов при поддержке Департамента радиоэлектронной промышленности и ОАО "Российская Электроника". Участники круглого стола сошлись в том, что без кардинального изменения политики государства в отношении радиоэлектроники задача производить в России более 50% всей потребляемой внутри страны радиоэлектроники неосуществима. Сегодняшнему российскому бизнесу, не говоря об иностранных инвесторах, выгоднее организовывать производство в Центральной Европе, чем в России. Обсуждалась таможенная и налоговая политика, вопросы сертификации и подготовки кадров, позиция государства по стоимости энергоресурсов. Впервые на выставке был представлен национальный стенд Сингапура. Также на национальных стендах свою продукцию и услуги представили такие страны, как Германия, Гонконг, Китай, Тайвань и Финляндия. В рамках деловой программы выставок прошло более 20 бизнес-мероприятий.

Оценивая результаты прошедшей выставки, организаторы уже сейчас начали подготовку к следующему форуму индустрии электроники, который пройдет 20–22 апреля 2009 года в "Крокус Экспо". Надеемся, правильные выводы будут сделаны.

*Собств. инф., по материалам [www.expoelectronica.ru](http://www.expoelectronica.ru)*