

# Миллиметровые радары АО «ПМК Миландр» для применения на автотранспорте и в системах безопасности

Ю. Мякочин<sup>1</sup>, М. Бирюков<sup>2</sup>

УДК 621.396 | ВАК 05.27.01

Высокочастотная (ВЧ) и сверхвысокочастотная (СВЧ) электроника в России имеет богатую историю. Сегодня СВЧ является одним из активно развивающихся направлений во многих областях электроники как специального, так и гражданского назначения. СВЧ-приборы применяются в автомобилестроении, радиосвязи (в том числе в сетях нового поколения 5G), медицине, автоматизации и контроле качества производства, контроле дорожного движения, охранных системах и беспилотных летательных аппаратах. Компания АО «ПМК Миландр» ведет активные работы как по разработке собственных СВЧ-микросхем, так и по созданию приборов СВЧ-электроники, в которых они могут быть применены и востребованы рынком. В статье рассказывается о ряде приборов группы компаний АО «ПМК Миландр» – автомобильном радаре, блоке управления безопасностью автомобиля, однолучевом радаре и СВЧ-приемопередатчиках, – предназначенных для реализации функций интеллектуальной системы помощи водителю (Advanced Driver-Assistance Systems, ADAS) и построения систем контроля дорожного трафика, охраны периметра, определения скорости и дальности объектов.

**В** АО «ПМК Миландр» идет разработка автомобильного радара и блока управления безопасностью автомобиля, предназначенных для применения в отечественных системах активной помощи водителю с функциями адаптивного круиз-контроля и автоматического экстренного торможения.

Функция адаптивного круиз-контроля регулирует скорость транспортного средства с помощью блока управления безопасностью автомобиля, анализирующего в реальном времени данные, поступающие от радара и камер. Транспортное средство следует за автомобилем, находящимся в том же ряду, сохраняя определенную дистанцию. При этом дистанция, поддерживаемая системой, автоматически корректируется в зависимости от скорости. Если обнаружения транспортного средства впереди не происходит, автомобиль придерживается заданной водителем и сохраненной в памяти скорости. Полное

описание системы адаптивного круиз-контроля приведено в ГОСТ Р ИСО 15622-2017.

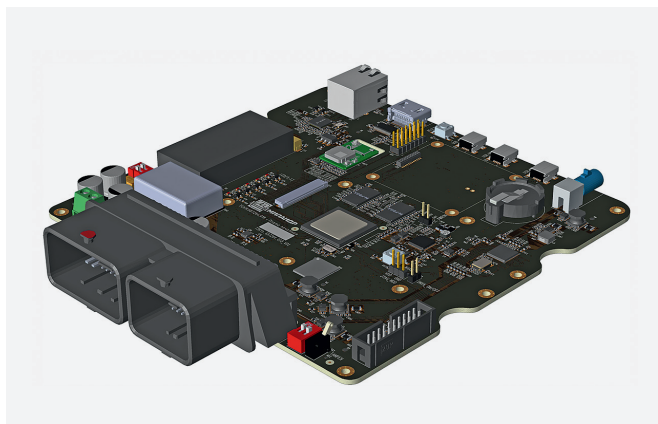
Функция системы автоматического экстренного торможения заключается в выработке предупредительного сигнала водителю о высоком риске фронтального столкновения с другими объектами (автомобилем, пешеходом, элементом инфраструктуры). В случае если при текущем поведении водителя столкновение неизбежно, должно обеспечиваться автоматическое экстренное торможение. Полное описание системы предупреждения столкновений с движущимся впереди транспортным средством приведено в ГОСТ Р ИСО 15623-2017.

Блок управления безопасностью автомобиля (рис. 1, табл. 1) выполняет функции центрального управляющего устройства в составе системы помощи водителю и осуществляет сбор информации одновременно с двух видеокamer и до трех радаров, обработку информации с целью анализа и принятия водителем или системой решений о возможных действиях. Взаимодействие с автомобилем выполняется по интерфейсу CAN.

Блок управления безопасностью автомобиля содержит многоядерный процессор с блоком видеоускорителя

<sup>1</sup> АО «ПМК Миландр», директор ЦП РЭА, myakochin.y@milandr.ru.

<sup>2</sup> АО «ПМК Миландр», начальник ОРРП ЦП РЭА, biryukov.m@milandr.ru.



**Рис. 1.** Внешний вид модуля управления безопасностью автомобиля

для обработки данных, поступающих с радаров и камер; систему синхронного сбора видеоданных с возможностью построения стереоизображения и распознавания окружающей обстановки; систему формирования управляющих команд для автомобиля; интерфейсы приема сигнала с аналоговых и цифровых камер; интерфейсы CAN, Ethernet, USB, Wi-Fi; инерциальную систему для определения перемещений, ускорений и положения автомобиля.

Многоядерный процессор приложений позволяет в режиме реального времени принимать и обрабатывать данные, поступающие с внешних устройств, определять объекты и осуществлять сигнализацию и / или управление автомобилем. Система синхронного захвата изображения с двух камер позволяет формировать стереоизображения для определения глубины получаемого видеоряда. Процессор в исполнении для автомобильных применений содержит 2D и 3D графические ускорители,

**Таблица 1.** Основные технические характеристики модуля управления безопасностью автомобиля

| Параметр                               | Значение                              |
|----------------------------------------|---------------------------------------|
| Процессор                              | Cortex A9                             |
| Тактовая частота, МГц                  | 1 000                                 |
| Объем ОЗУ, Гбайт                       | 4                                     |
| Объем твердотельного накопителя, Гбайт | 64                                    |
| Напряжение питания, В                  | 9–36                                  |
| Интерфейсы                             | CAN, Ethernet, USB, PAL, FPD-Link III |
| Диапазон рабочих температур, °C        | –40...85                              |



**Рис. 2.** Внешний вид автомобильного радара «МАРС-2А1»

аппаратный кодек видеоизображения 1080p/30, поддерживает 64-битную память DDR3 / DDR3L. Блок может работать с интерфейсами стандарта FPD-Link III с максимальной пропускной способностью до 3 Гбит / с.

Автомобильный радар (рис. 2, табл. 2) предназначен для идентификации (классификации) и измерения координат (дальности, скорости и азимута) обнаруженных на дороге объектов как в условиях нормальной видимости, так и в условиях, когда визуальное наблюдение затруднено – в ночное время, при плотном тумане, при интенсивном дожде или снегопаде, при сильном задымлении, большой концентрации в воздухе песка и пыли, при ослеплении солнечными лучами, фарами встречных автомобилей. Все обнаруженные объекты классифицируются согласно их габаритам, скорости движения и вероятности достоверного обнаружения. Выходными

**Таблица 2.** Основные технические характеристики радара «МАРС-2А1»

| Параметр                                               | Значение      |
|--------------------------------------------------------|---------------|
| Минимальная дальность обнаружения, м                   | 1,2           |
| Максимальная дальность обнаружения, м                  | 200           |
| Относительные скорости обнаруживаемых объектов, км / ч | –400...200    |
| Число одновременно обнаруживаемых целей                | 32            |
| Ширина луча по азимуту, °                              | ±6; ±60       |
| Напряжение питания, В                                  | 9–36          |
| Интерфейсы                                             | CAN, Ethernet |
| Диапазон рабочих температур, °C                        | –40...85      |

данными радара являются кодограммы, содержащие информацию об обнаруженных объектах\*.

Автомобильный радар «МАРС-2А1» состоит из двух основных компонентов:

- модуля приемо-передатчиков, совмещенного с фазированной антенной решеткой (ФАР);
- модуля цифрового вычислителя.

Передающая ФАР радара излучает непрерывный ВЧ-сигнал, частота которого изменяется в заданном диапазоне по заранее определенному линейному FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) закону, а амплитуда остается практически неизменной. Излучаемые радаром электромагнитные сигналы, отражаясь от объектов, находящихся в зоне обнаружения, поступают через приемные ФАР на модуль приемо-передатчиков, где, смешиваясь с передаваемым сигналом, образуют разностный сигнал на промежуточной частоте, которая зависит от расстояния и относительной скорости обнаруженного объекта.

Модуль цифрового вычислителя разработан на основе четырех 32-разрядных высокопроизводительных процессоров цифровой обработки сигналов K1967BH028 (тактовая частота до 450 МГц).

Модуль приемопередатчиков состоит из двух передающих и восьми приемных ФАР, что позволяет формировать цифровым образом желаемую диаграмму направленности (ДН) как на прием, так и на передачу ВЧ-сигнала, благодаря чему автомобильный радар «МАРС-2А1» имеет возможность работы в режимах дальнего и ближнего действия. Увеличение дальности обнаружения в режиме дальнего действия обеспечивается сужением сектора обзора и уменьшением ширины лучей ДН приемной антенны, что эквивалентно увеличению коэффициента усиления.

Для решения задач построения экономически выгодных систем контроля и подсчета дорожного трафика, определения скорости/дальности объектов и измерения высоты в компании АО «ПКК Миландр» разработана гибкая аппаратно-программная платформа «однолучевой радар».

Однолучевой радар «МАРС-1А1» (рис. 3) состоит из модуля приемопередатчика и модуля вычислителя с сигнальным процессором. Приемопередатчик представляет собой компактный модуль, включающий ФАР, реализованную в виде отдельной передающей и отдельной приемной частей. Передающая и приемная части ФАР выполнены симметрично, каждая состоит из отдельных патч-антенн, сориентированных между собой таким образом, чтобы

была сформирована желаемая ДН и минимизировано взаимное влияние приемника и передатчика.

Модуль цифрового вычислителя разработан на основе 32-разрядного высокопроизводительного процессора цифровой обработки сигналов K1967BH044 (тактовая частота до 200 МГц).

Гибкость платформы «МАРС-1А1» заключается в возможности замены модуля приемопередатчика и соответствующего программного обеспечения, что позволяет использовать радар в качестве:

- датчика для систем контроля дорожного трафика (поддерживающего ряд функций: возможность контроля 10 полос движения, измерение средней скорости и количества транспортных средств, определение сквозь барьеры (разделители, островки безопасности));
- высотомера (альтиметра) (измерение высоты с точностью до 10 см, максимальная высота до 60 м; оценка относительной скорости движения; наличие ГЛОНАСС/GPS/Galileo-приемника ПРО-04 АО «НИИМА «Прогресс»);
- измерителя скорости (работа в режиме доплеровского радара, максимальная дальность 200 м, измерение скорости с точностью 1 км/ч, возможность определения направления движения).

Для построения систем контроля и охраны периметра в компании АО «ПКК Миландр» разработана линейка СВЧ-приемопередатчиков. Каждый СВЧ-приемопередатчик представляет собой компактный модуль, включающий ФАР, реализованную в виде отдельной передающей и отдельной приемной частей, схему стабилизации цепей питания, СВЧ-генератор, управляемый напряжением, схему температурной компенсации СВЧ-генератора, квадратный и синфазный выходы промежуточной частоты,

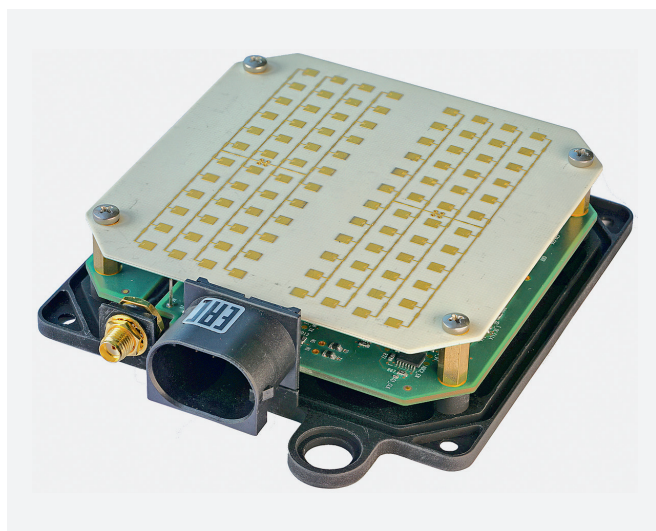
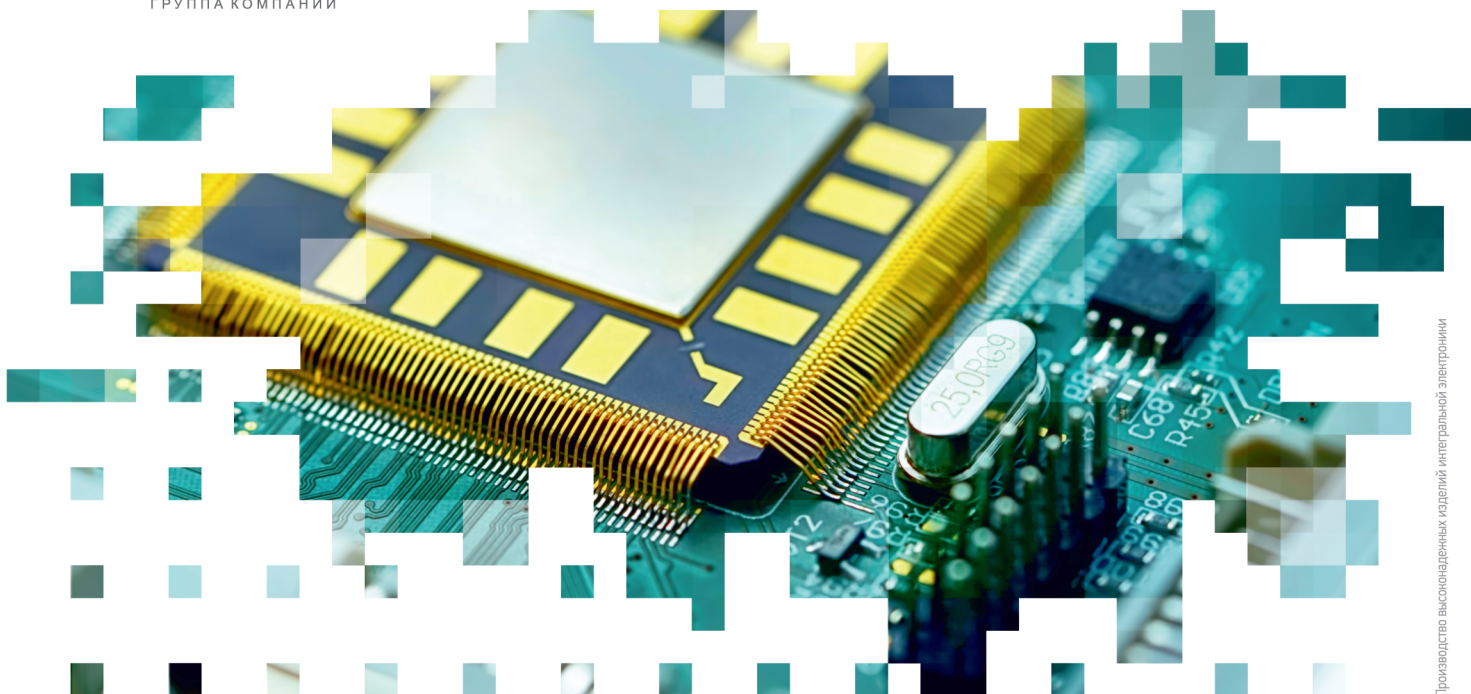


Рис. 3. Внешний вид однолучевого радара «МАРС-1А1»

\* Мякочин Ю., Бирюков М. Автомобильные радары частотных диапазонов 24 и 77 ГГц // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 8. С. 84–88.

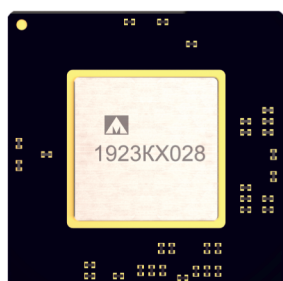


Производство высокоточных изделий интегральной электроники

## 1923KX028

Микросхема коммутатора интерфейса Ethernet 10/100/1000 Мбит/с  
АЕНВ.431240.329ТУ

Предназначены для использования в аппаратуре специального назначения, особенно эффективен в приложениях для аудио/видео коммутирующих систем



МК 8303.576-2

### Технические характеристики

- 16-порт. коммутатор сетей
- IEEE 802.3/Ethernet 10/100/1000 Мбит/с
- $U_{cc} = (3,3 \pm 0,3)$  В и  $(1,1 \pm 10 \%)$  В
- Поддержка Jumbo пакетов до 9216 байт
- Потребляемая мощность 5 Вт
- QoS совместимая с IEEE 802.1p, 1
- VLAN совместимая с IEEE 802.1Q, 1
- Два MDIO интерфейсы со скоростью обмена от 2,5 до 12 Мбит/с
- Общая память пакетов, 1 Мбайт
- Интерфейс SPI master / SPI slave

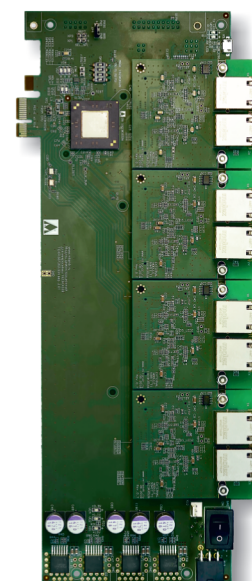
## ТСКЯ.468998.072

Комплект демонстрационной платы для микросхемы 1923KX028

Комплект предназначен для ознакомления и исследования работы микросхемы 1923KX028

### Состав комплекта

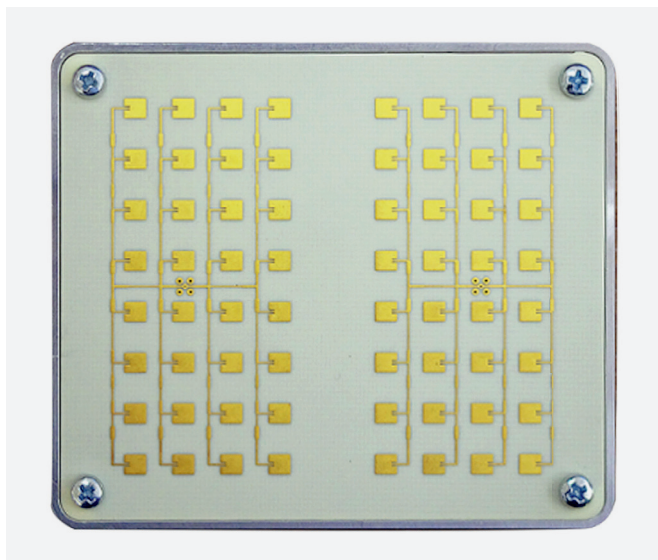
- 1923KX028 (коммутатор интерфейса Ethernet 10/100/1000)
- 1986BE92 (32-битный микроконтроллер на базе ядра ARM Cortex-M3)
- PCI-Express x1, стандарт 2.0 (5 ГТ/с)
- 2 интерфейса SMI (MDIO)
- 8 мезонинных плат с Ethernet PHY трансиверами (2 канала Ethernet на каждой плате)
- USB интерфейс для конфигурирования
- Термодатчик



## Новизна инженерных решений

124498, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5 • info@milandr.ru  
+7 (495) 981-54-33 • +7 (495) 981-54-36 (факс)

/ MILANDR.RU

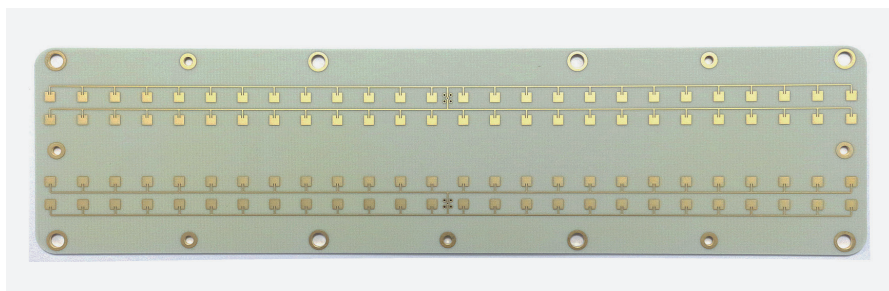


**Рис. 4.** Внешний вид СВЧ-приемопередатчика «Обзор 24»

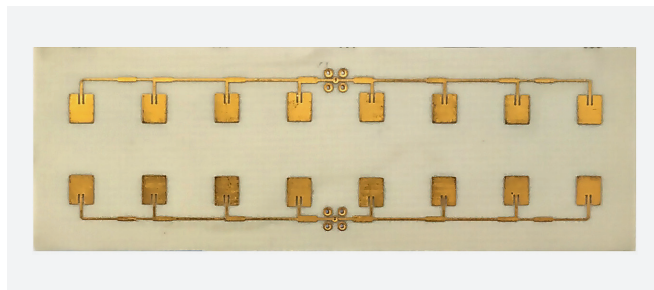
два усилителя промежуточной частоты, низкочастотный выход, пропорциональный частоте СВЧ-генератора.

СВЧ-приемопередатчик «Обзор 24» (рис. 4) – высокочувствительный приемопередающий сенсор, оснащенный встроенным маломощным СВЧ-услителем (МШУ), позволяющим повысить уровень входного сигнала. СВЧ-приемопередатчик «Обзор 24» имеет габаритные размеры 78×66 мм, коэффициент усиления приемной и передающей антенны 17 дБи у каждой, диаграмму направленности 16°/24°, необходимое напряжение источника питания 5 В, частотный диапазон 24,05–24,25 ГГц. Малые габариты обеспечивают возможность его интеграции в различные виды аппаратуры заказчика.

СВЧ-приемопередатчик «Завеса 24» (рис. 5) является модификацией устройства «Обзор 24» и отличается увеличенными размерами приемной и передающей ФАР для уменьшения величины угла диаграммы направленности по азимуту. СВЧ-приемопередатчик «Завеса 24» имеет габаритные размеры 202×50 мм, коэффициент усиления приемной и передающей антенны 20 дБи



**Рис. 5.** Внешний вид СВЧ-приемопередатчика «Завеса 24»



**Рис. 6.** Внешний вид СВЧ-приемопередатчика «М-LC6»

у каждой, диаграмму направленности 3°/56°, необходимое напряжение источника питания 5 В, частотный диапазон 24,05–24,25 ГГц.

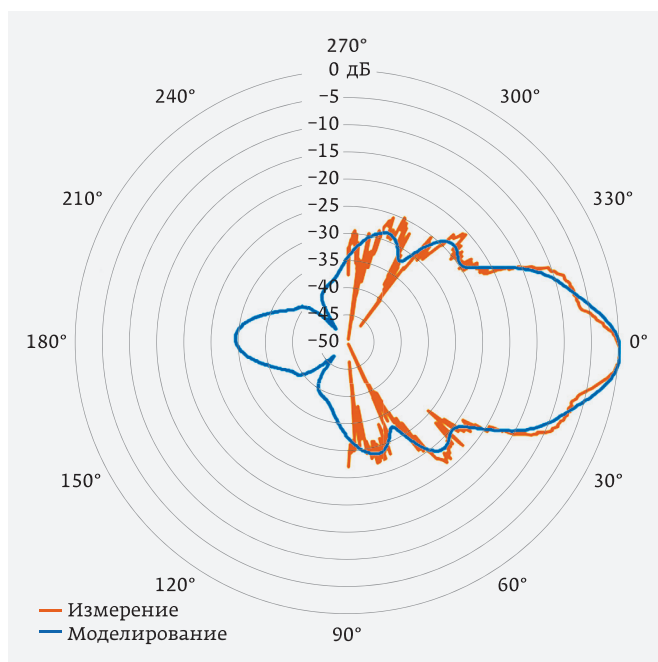
СВЧ-приемопередатчик «М-LC6» (рис. 6) – также модификация приемопередатчика «Обзор 24». У него уменьшены размеры приемной и передающей ФАР для возможности использования в более компактных применениях. СВЧ-приемопередатчик «М-LC6» имеет габаритные размеры 65×22 мм, коэффициент усиления приемной и передающей антенны 13 дБи у каждой, диаграмму направленности 12°/80°, необходимое напряжение источника питания 5 В, частотный диапазон 24,05–24,25 ГГц.

Все разработанные СВЧ-приемопередатчики прошли проверку работоспособности в диапазоне температур от –40 до 85 °С и имеют температурный дрейф (уход) частоты менее 1 МГц/°С.

Для решения задач, возникающих при проектировании СВЧ-изделий, в компании сформирована СВЧ измерительная лаборатория, укомплектованная передовым оборудованием. В состав лаборатории входит: безэховая камера (БЭК), программно-аппаратный автоматизированный комплекс построения трехмерной диаграммы направленности, анализатор цепей с частотным диапазоном до 110 ГГц, анализатор сигналов с частотным диапазоном до 90 ГГц, аналоговый генератор сигналов, работающий на частотах до 50 ГГц.

Назначение БЭК – обеспечение защиты от внешнего электромагнитного излучения (радиопомех) при выполнении антенных измерений и предварительных испытаний

на электромагнитную совместимость (ЭМС). Первичная аттестация БЭК проводилась в частотном диапазоне 700 МГц – 40 ГГц, с возможностью расширения до 81 ГГц. БЭК позволяет проводить измерения таких характеристик антенн, как коэффициент усиления, диаграмма направленности, степень кроссполяризации, направление вращения и угол наклона эллипса поляризации; предусмотрено отображение результатов



**Рис. 7.** Сравнение результатов моделирования и измерений диаграмм направленности СВЧ-приемопередатчика «Обзор 24»

измерения в формате 3D. Измерения проводятся в автоматическом режиме, что значительно повышает их повторяемость.

Разработка СВЧ-изделий невозможна без использования современных систем электромагнитного (ЭМ) моделирования. В компании для нужд ЭМ-моделирования радиоэлектронной аппаратуры закуплены лицензии трех

программных продуктов: Cadence Sigrity, Keysight ADS и CST MICROWAVE STUDIO. У каждого из них есть свои сильные стороны. Быстрый и качественный гибридный расчетчик Sigrity PowerSI позволяет без «обрезания» габаритов топологии проводить расчеты многослойных печатных плат размерами 60×60 см, при этом можно одновременно рассчитывать до 70 портов. Sigrity PowerDC дает возможность наглядно анализировать качество топологии шин/полигонов земли и питания, а также учитывать возможный перегрев используемых элементов. Keysight ADS позволяет проводить точный расчет более сложных планарных структур и обладает уникальным по функционалу схемотехническим симулятором. CST MICROWAVE STUDIO дает возможность получать модели сложных и объемных 3D-структур, таких как ФАР, проверять и корректировать выбранный тип распределения и ДН разрабатываемых антенн, учитывать влияние корпусов изделий на работу приемопередатчиков и, с другой стороны, оценивать качество экранировки тех изделий, которые должны быть выполнены в соответствии с требованиями электромагнитной совместимости.

Особое внимание уделяется верификации результатов моделирования и обеспечению высокой степени соответствия моделей и проводимых измерений (рис. 7).

В заключение можно отметить, что в настоящее время проходят натурные испытания разработанных СВЧ-приборов в различных условиях их реального применения. АО «ПКС Миландр» сотрудничает с крупными российскими компаниями, работающими в областях автомобилестроения, разработки комплексов охранных систем, контроля дорожного трафика и беспилотных летательных аппаратов. ●

## ГОТОВИТСЯ К ИЗДАНИЮ



### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп.

Кондрашин А. А., Лямин А. Н., Слепцов В. В.

С развитием высоких технологий становится реальным выпуск трехмерных электронных устройств (ТЭУ). Решением данной задачи являются еще только разрабатываемые гибридные технологии, названные в данной работе квази-4D-технологиями формирования ТЭУ.

Учебное пособие может быть рекомендовано бакалаврам и магистрам высших учебных заведений.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2019. – 210 с.,  
ISBN 978-5-94836-504-6

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)