

УДК 621.396.9; 537.86

В.Б. Антипов, Д.Я. Суханов, Ю.И. Цыганок, В.П. Якубов

## СВЧ приемопередающие модули для систем ближней локации

Проведены эксперименты по синтезу радиоизображений системой модулей с октавной перестройкой частоты в см-диапазоне. Сделаны оценки пороговой чувствительности и разрешающей способности модулей. Разработаны принципы построения системы радиовидения в мм-диапазоне с получением данных в реальном масштабе времени.

**Ключевые слова:** сверхвысокие частоты, приемопередающий модуль, ближняя локация, системы безопасности.

**СВЧ-модули как средство «радиовидения».** Системы неразрушающего контроля и досмотра имеют большое значение в современном обществе, особенно в местах массового скопления людей, на транспорте и т.п. В связи с вредным воздействием рентгеновских лучей все большее распространение получают альтернативные средства, в частности субмиллиметровые сканеры. Менее дорогим и достаточно эффективным средством может стать микроволновая томография, позволяющая с помощью компьютерной обработки синтезировать изображение объекта с разрешающей способностью порядка длины волны.

**Исследование модулей сантиметрового диапазона.** Для оценки потенциальных возможностей микроволновых томографов изготовлен и испытан набор приемопередающих модулей с дискретно-линейным сканированием частоты в диапазоне 6–12 ГГц. Все модули являются когерентными датчиками коэффициентов отражения в двух ортогональных поляризациях. Формирователь зондирующего сигнала содержит генератор, управляемый напряжением, удвоитель частоты, усилитель мощности и 8-канальный делитель. В качестве перестраиваемого генератора использована микросборка DCYS300600 фирмы Synergy, обладающая повышенной линейностью перестройки в более чем октавном диапазоне. Сформированный сигнал усиливается до уровня порядка 70 мВт усилителем мощности АММС-5618.

Передающие и приемные антенны типа Вивальди расположены на основании размерами 100x100 мм. Часть зондирующего сигнала ответвляется на приемные смесители, выполненные на диодах HSMS8202. Выходные сигналы смесителей, представляющие собой биения принимаемого сигнала с зондирующим, поступают на компьютерную обработку. Для компенсации паразитного сигнала, обусловленного близким расположением антенн, потребовался АЦП с разрядностью не менее 16. В экспериментах по построению радиоизображений линейка из 8 модулей дискретно перемещалась мимо тестового объекта, образуя виртуальную двумерную апертуру. На рис. 1 приведена интерферограмма сигнала, отраженного от объекта в виде металлической сферы. Горизонтальная ось соответствует изменению частоты, вертикальная – поперечному смещению модуля относительно объекта, градации яркости – выходному сигналу смесителя. В соответствии с физической ситуацией интерференционные полосы расположены регулярно, а частота их чередования зависит от расстояния до объекта. Вертикальные полосы обусловлены отражением от стен помещения.

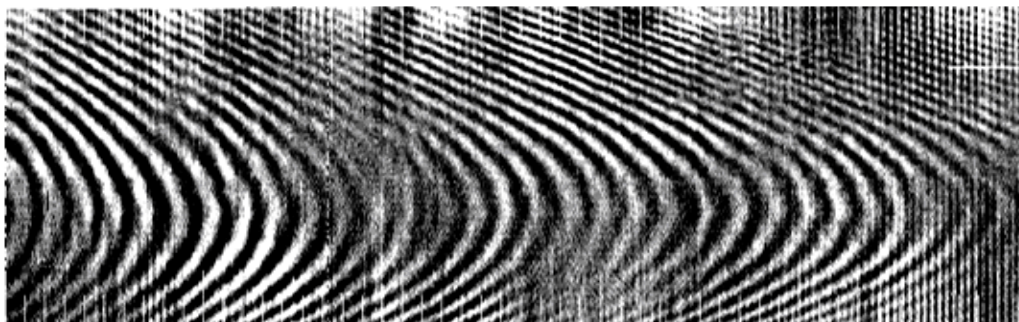


Рис. 1. Интерферограмма тестового объекта

На рис. 2 приведено синтезированное изображение объекта в виде металлизированного пистолета, закрепленного на бутылки с водой, имитирующей торс человека.

**Исследование модулей миллиметрового диапазона.** Дальнейшее совершенствование системы радиотомографирования связано с продвижением в миллиметровый диапазон, обеспечивающий разрешение деталей с точностью до единиц миллиметров. К настоящему времени успешно испытан макет приемопередающего модуля 8-мм диапазона на основе ферритового циркулятора с подключенными к нему генератором, антенной и смесителем. Формирование апертуры производится аналогично тому, как это делается в вышеописанной системе, дискретным перемещением линейки из 8 модулей. Благодаря малым габаритам их число может быть доведено до 32 на метр. Генератор выполнен на диоде Ганна, перестраиваемом по частоте напряжением питания. Диапазон перестройки до 1,5 ГГц, частота сканирования 50–100 Гц, что обеспечивает обзор кадра в течение 1–2 с, т.е. практически в реальном масштабе времени. Как альтернатива дорогостоящей системе частотного синтеза предлагается использование генератора сетки частот, определяющей моменты отсчетов принимаемого сигнала. Чувствительность системы ограничивается амплитудными шумами генератора Ганна, типичным является потенциал 120 дБ/Гц при отстройке 10 кГц от несущей.

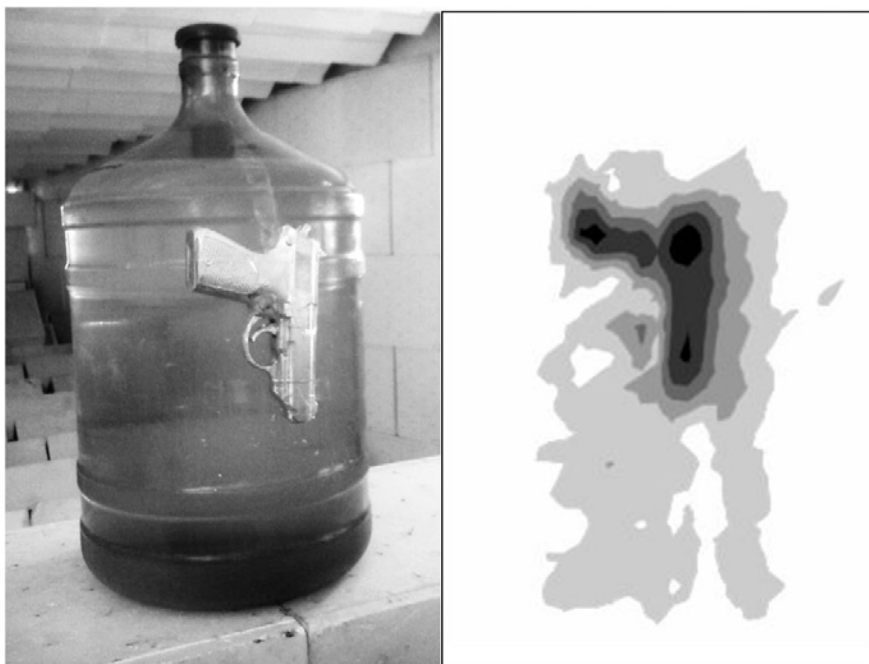


Рис. 2. Металлический пистолет на бутылки с водой и его восстановленное радиоизображение

Представляет интерес переход в диапазон 150–300 ГГц (1–2 мм) с использованием элементной базы НИИПП (г. Томск). Для систем ближней локации частично прозрачных объектов, рекламируемых как средства видения сквозь одежду, данный диапазон практически является предельным, поскольку более короткие волны рассеиваются уже в тонких слоях ткани. При разумных размерах антенны фокальное пятно на расстоянии 1–2 м для таких длин волн имеет поперечник порядка 1,5 см, что позволяет даже без когерентной обработки получать путем сканирования контурные изображения объектов. Для формирования и канализации волновых пучков используется рупорно-линзовая техника. Испытанные узлы представлены генератором на диоде Ганна с умножением частоты и детектором на основе монолитной интегральной схемы смесителя диапазона 140 ГГц. Высокочастотная часть микросхемы содержит прямоугольные проводники, образующие щелевую линию. В разрыве щелевой линии помещена последовательная пара диодов с граничной частотой порядка 2500 ГГц. Для исследования в качестве универсального широкополосного детекторного узла микросхема располагалась вне волноведущих структур, а именно была наклеена на слюдяную пластину толщиной 30 мкм и распаяна золотыми проволоками к внешним проводникам. На диоды подавалось прямое смещение от источника тока около 0,1 мА. Детектор был помещен в фокусе фторопластовой линзы. В диапазоне 140 ГГц с использованием вышеупомянутого генератора проведена оценка чувствительности детектора в сравнении с оптико-акустическим приемником ОАП-7, выполненным на

основе элемента Голея. В обоих случаях был получен сходный результат: сигнал генератора вызывал выходной отклик, превышающий флуктуации на 40 дБ.

Диапазонные свойства детектора были исследованы на монохроматическом субмиллиметровом спектрометре. Усредненная частотная характеристика сохраняет равномерность от 50 до 400 ГГц. В дальнейшем наблюдается спад, обусловленный размерными факторами – формой и протяженностью планарных проводников микросхемы.

Главное преимущество детектора перед тепловыми приемниками состоит в малой инерционности. Равномерность детекторной характеристики в широком диапазоне частот позволяет использовать устройство как унифицированный элемент в составе приемопередающих модулей для различных применений, а малая апертура – в пределах длины волны – позволяет размещать на одной подложке линейку детектирующих элементов.

С использованием генератора и детектора был реализован квазиоптический сенсор диапазона 2 мм, подобный вышеописанным модулям сантиметрового и 8-мм диапазонов. В нем детектор служит смесителем излучаемого и принимаемого сигналов. Чувствительность сенсора достаточна для регистрации движения небольших объектов (рука оператора) на расстоянии более 4 м. Дальнейшее повышение чувствительности связано с переходом к гетеродинному приему. При этом реализуется одно из главных преимуществ диодного детектора перед тепловыми детекторами – малая инерционность. В гетеродинной схеме с промежуточной частотой 20–100 МГц подтверждено повышение чувствительности в диапазоне 140 ГГц как минимум на 10 дБ.

**Выводы.** Проведенные исследования показали возможность реализации сканирующих систем построения радиоизображений, удовлетворяющих типичным требованиям по чувствительности и разрешающей способности. При этом может быть использована доступная и относительно дешевая элементная база.

---

**Антипов Владимир Борисович**

Канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией электроники ОСП СФТИ  
при Национальном исследовательском Томском государственном университете (НИТГУ)  
Тел.: 8 (383-2) 41-38-34  
Эл. почта: antipov50@mail.ru

**Суханов Дмитрий Яковлевич**

Канд. физ.-мат. наук, доц. каф. радиофизики НИТГУ

**Цыганок Юрий Иванович**

Канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник ОСП «СФТИ»  
Тел.: 8 (383-2) 41-38-34

**Якубов Владимир Петрович**

Д-р физ.-мат. наук, зав. каф. радиофизики НИТГУ  
Тел. 8 (382-2) 41-34-63  
Эл. почта: yvlp@mail.tsu.ru

Antipov V.B., Sukhanov D.Ya., Tziganok Yu.I., Yakubov V.P.

**Microwave Transceiver Modules for Close-Range Location Systems**

The experiments have been carried out on synthesis of radio images with a system of octave-band modules in cm range. Sensitivity threshold and spatial definition of modules are estimated. Principles are elaborated for assembling mm range real-time radio imaging systems.

**Keywords:** microwaves, transceiver module, close-range location, security systems.