

Оптимизация конструкции «кофейного» радара при помощи NI AWR Design Environment

Джим Кэрролл, Джент Папаристо, AWR Group, NI

Интересная идея создания радара из кофейных банок и доступных комплектующих получила новое развитие благодаря использованию современных программных средств от National Instruments. В статье рассказывается о том, как можно оптимизировать и значительно удешевить данный проект.

ВВЕДЕНИЕ

В 2012 году в IEEE Spectrum была опубликована статья [1], в которой описывался проект по созданию радиолокационной системы с синтезированной апертурой. В основе проекта лежала конструкция радара из кофейных банок, впервые представленная в одном из бесплатных курсов MIT OpenCourseWare (OCW) [2]. Некоторое время спустя авторы настоящей статьи решили «взбодрить» этот проект и оптимизировать конструкцию, используя богатые возможности программного обеспечения NI AWR Design Environment.

В данной статье будет показано, как исходный проект был переработан при помощи NI AWR Design Environment и, в частности, Microwave Office для работы на схемном уровне, Visual System Simulator™ (VSS) для проектирования на системном уровне и ЭМ-симуляторов AXIEM и Analyst™. В результате получилась новая конструкция радара меньшего размера, со значительно лучшими характеристиками и меньшей стоимостью.

Исходный проект OCW

Исходный проект «кофейного» радара создавался для открытого частотно-

го диапазона 2,4 ГГц, поэтому все его комплектующие были легко доступны. В основе конструкции лежали компоненты конструктора Mini-Circuits, что позволило собрать основную часть схемы путём прямого соединения нужных элементов. Сигнал основной полосы частот радара усиливался и фильтровался при помощи собранной на макетной плате схемы. Для сэмплирования промежуточной частоты использовалась звуковая карта ноутбука, а для обработки сигнала применялось программное обеспечение MATLAB. В результате получилось устройство со следующими характеристиками: частота 2,4 ГГц, сигнал в виде незатухающей гармонической волны с нарастающей амплитудой с полосой 80 МГц, менее 1 Вт потребляемой мощности и менее 1 Вт эквивалентной изотропно излучаемой мощности.

На рисунке 1 представлен внешний вид системы с наложенной на фотографию радара структурной диаграммой. Можно увидеть, что в оригинальной конструкции присутствовали генератор, управляемый напряжением (ГУН), аттенюатор между усилителем мощности (УМ) и ГУН, а также ответвитель на передающую антенну и цель, после отражения от которой сигнал возвращался в приёмный тракт. На данном этапе пользователь получал информацию об основной полосе сигнала при помощи звуковой карты ноутбука и производил обработку сигнала в MATLAB. Общая стоимость проекта на время сборки конструкции составляла \$360, \$240 из которых – ВЧ-компоненты. Стоимость антенной системы составила примерно \$54 – большая часть этой суммы была потрачена на кабели и коннекторы.

Усовершенствование радара

Обновление конструкции «кофейного» радара заключалось в использовании мощных инструментов NI AWR для создания аналогичного проекта, отличающегося при этом от оригинала лучшими характеристиками, более низкой стоимостью и меньшими размерами.

Первым шагом стало воссоздание оригинального проекта в виде систем-

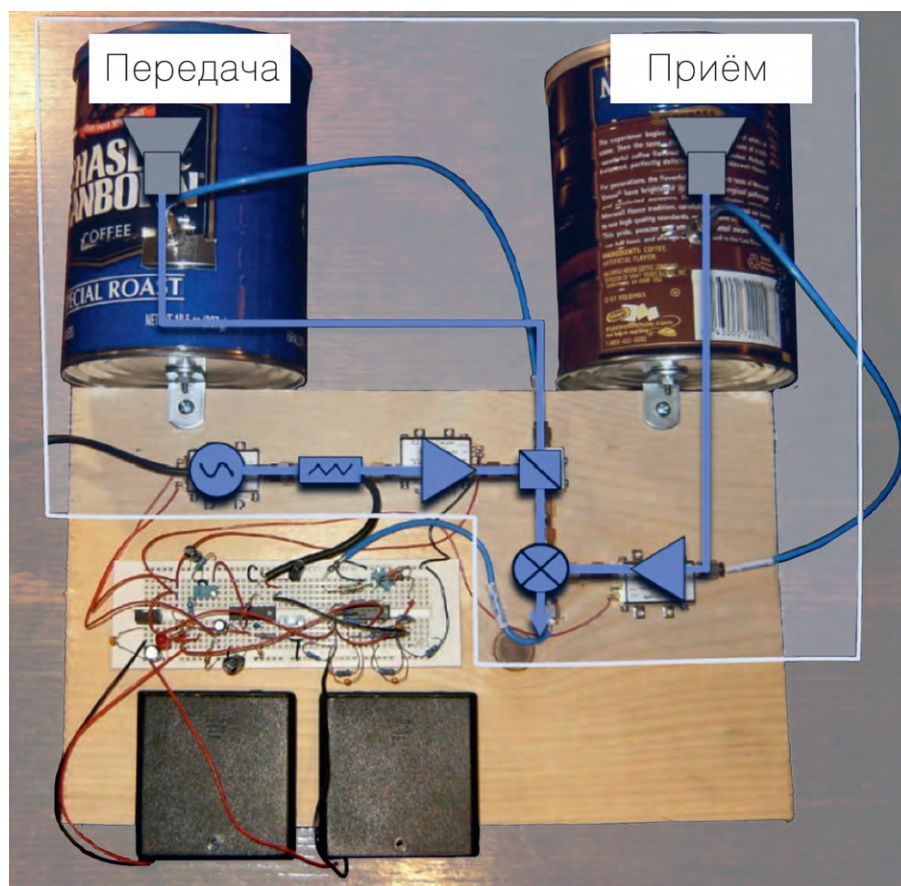


Рис. 1. Исходный проект «кофейного» радара с элементами конструктора в верхней части и антеннами в виде кофейных банок над платой

ной диаграммы в VSS. На рисунке 2 показана конструкция проекта OCW с моделью цели из библиотеки VSS, которая моделирует отражение сигнала. Сама схема принципиально осталась без изменений, однако вместо элементов конструктора были использованы компоненты поверхностного монтажа (см. рис. 3).

Блоки системной диаграммы VSS, представленные на обоих этих рисунках, являются математическими моделями реальных компонентов, построенными на основе их спецификаций. На блок-схеме также представлены модели направленных антенн вместо кофейных банок, что является чисто математическим подходом, однако позволяет полностью построить и промоделировать систему программными средствами. Модель цели и блок обработки основной полосы сигнала также были взяты из встроенной библиотеки VSS.

В новой конструкции место компонентов Mini-Circuit заняли доступные элементы поверхностного монтажа в ценовом диапазоне \$1-12, в частности аттенюатор и фильтр нижних частот. На плате также был установлен микрополосковый ответвитель на 20 дБ. Антенны из кофейных банок были заменены на планарные антенны Вивальди, спроектированные при помощи 3D планарного ЭМ-симулятора AXIEM и верифицированные в полноценном 3D-симуляторе методом конечных элементов Analyst™. Всё это позволило сократить общую стоимость комплектующих проекта без ухудшения характеристик радара.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ В VSS

На рисунке 4 приведено сравнение каскадных характеристик начального проекта (синяя линия) и обновлённой конструкции (красная линия). На выходе ГУН старого проекта изначально выдаётся более высокая мощность по сравнению с новой конструкцией, однако затем от элемента к элементу выходная мощность в обновлённой версии становится выше, во многом благодаря использованию более качественных компонентов (особенно усилителя мощности). В результате выходная мощность антенны старой системы составляет примерно 20 дБм эквивалентной изотропно излучаемой мощности, в то время как новая система обеспечивает около 1 Вт, что нахо-

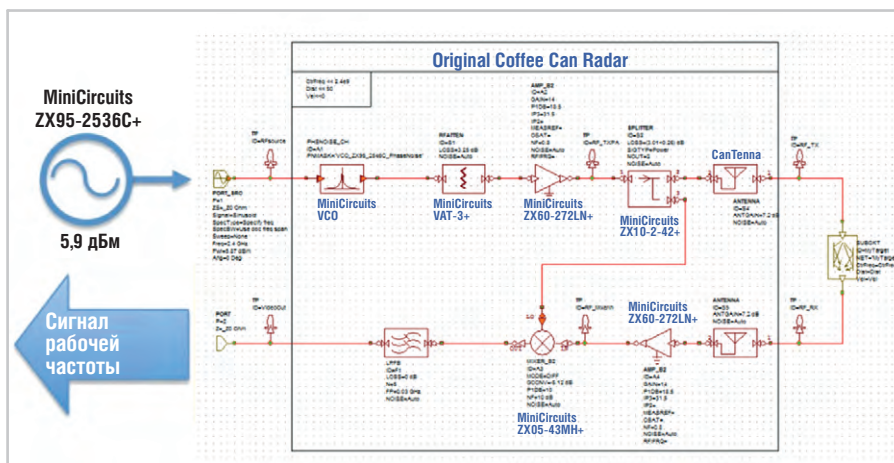


Рис. 2. Оригинальный проект радара, созданный в NI AWR Design Environment VSS

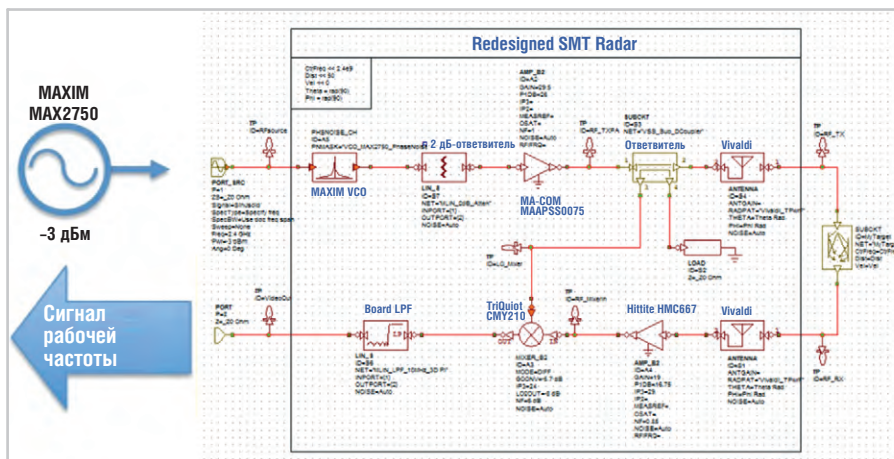


Рис. 3. Обновлённая версия проекта в VSS на основе компонентов поверхностного монтажа

дится на границе допустимых уровней излучения, установленных Федеральной комиссией по связи США для узконаправленных антенн Вивальди.

Потери на распространение сигнала до цели и обратно были промоделированы с помощью элементов встроенной библиотеки VSS, которые также позво-

ляют добавить доплеровский сдвиг для имитации движения цели. Отражённый от цели сигнал принимается антенной Вивальди и поступает на малошумящий усилитель (МШУ) и смеситель. В отличие от изначальной системы, обеспечивавшей порядка -45 дБм мощности на промежуточной частоте, в новой

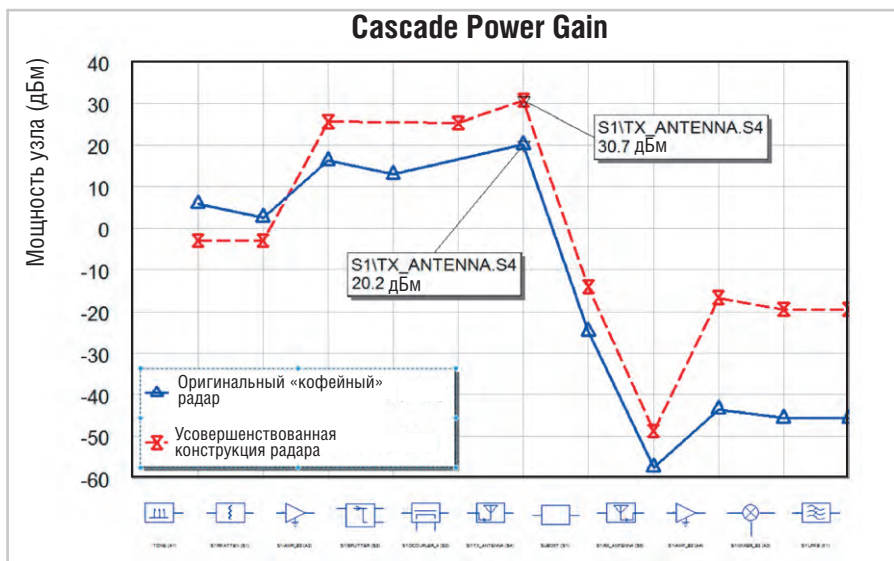


Рис. 4. Сравнение характеристик двух конструкций в рамках каскадного анализа

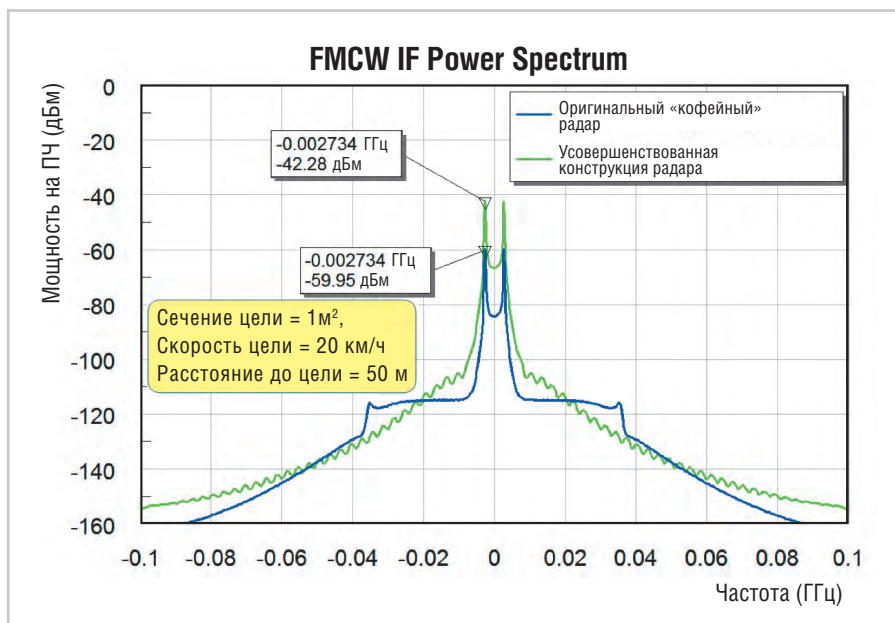


Рис. 5. Моделирование спектра сигнала во временной области

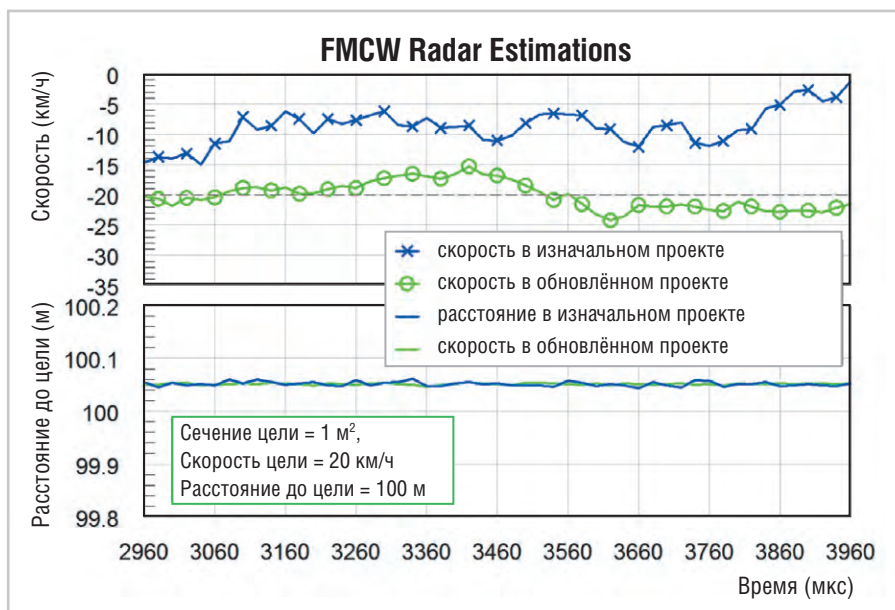


Рис. 6. Измерения дальности и скорости цели во временной области в VSS

конструкции было получено 20 дБм. Как видно из рисунка 4, более высокая мощность на ПЧ позволяет новой версии радара обнаружить цель с большей вероятностью, чем при использовании оригинальной схемы.

Важными и полезными возможностями VSS являются моделирование созданной системы во временной области и проверка работы системы с частотно-модулированным сигналом непрерывного излучения (FMCW-сигнал). На рисунке 5 представлены спектры сигналов ПЧ на выходе старой и новой систем, на которых видны пики на положительных и отрицательных частотах, определяемых расстоянием до цели и доплеровским смещением сигнала.

После исключения ПЧ из моделирования можно продолжить частотную обработку сигнала с помощью преобразования Фурье. Положение двух пиков определяет расстояние до цели (дальность) и доплеровское смещение (скорость). Разброс между пиками и их смещение относительно нуля, собственно, и определяют скорость цели и расстояние до неё. Для оценок этих величин можно воспользоваться блоками VSS-обработки сигналов. Таким образом, инженер видит не только спектр сигнала, но также может напрямую выводить на экран графическую оценку дальности и скорости цели, как это показано на рисунке 6.

Обе системы были направлены на цель с эффективной площадью 1 м²,

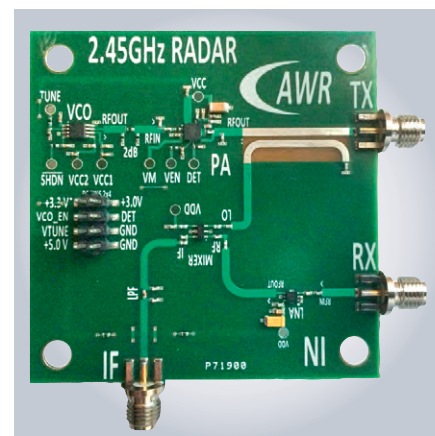


Рис. 7. Печатная плата, спроектированная в NI AWR Design Environment

которая двигалась с относительной скоростью 20 км/ч на расстоянии 100 метров. Как показали результаты, обе системы оказались способны достаточно точно определить дальность цели, в то время как определение скорости по доплеровскому смещению оказалось более сложной задачей. На рисунке 6 видно, что обновлённая конструкция смогла определить скорость цели в пределах 4 км/ч вокруг среднего значения 20 км/ч (зелёная линия). На самом деле, скорость составляла -20 км/ч, поскольку цель двигалась, удаляясь от радара. Оригинальная система (синяя линия) на представленном наборе данных показала завышенные результаты. Если продолжить моделирование во временной области и подождать некоторое время, синие маркеры выровняются вокруг среднего значения 20 км/ч, однако это займёт значительное время. Таким образом, из данного графика видно, что обновлённой системе не требуется много времени для получения хорошего усреднённого значения скорости благодаря лучшему прохождению отражённого сигнала на ПЧ. Старая система может определить скорость с нужной точностью, однако для этого потребуются заметно больше времени.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАТЫ В MICROWAVE OFFICE И AXIEM

По завершении работы с системной диаграммой обновлённая система была спроектирована на физическом уровне в NI AWR Design Environment на двухслойной плате FR4 толщиной 157 мкм (см. рис. 7).

ГУН, УМ и МШУ были выполнены на основопопулярных, приведённых в спецификациях производителя. Атенюатор на 1 дБ, ФНЧ и ответвитель были спроектированы в Microwave Office.

Последний проектировался при помощи ЭМ-симулятора AXIEM. Общая стоимость платы составила менее \$60 за все компоненты, размещённые на плате, что значительно дешевле оригинальной конструкции стоимостью порядка \$250.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕНН В AXIEM И ANALYST™

Как было отмечено ранее, антенны в виде кофейных банок были заменены на планарные антенны Вивальди (см. рис. 8). Антенна представляет собой плату, на передней стороне которой расположена микрополосковая линия, возбуждающая расширяющуюся щелевую линию на обратной стороне платы. Антенны такого типа часто применяются в радиолокационных системах и в данном случае были полностью спроектированы при помощи AXIEM. На приведённом графике синей линией обозначены результаты моделирования, розовой – данные измерений, полученные на векторном анализаторе. Можно видеть, что данные хорошо согласуются. Полноценный 3D ЭМ-анализ диаграммы направленности излучения был выполнен при помощи Analyst™, а его результаты были введены напрямую в блок-схему VSS, что позволило разработчику задать системе параметры цели со смещением в виде параметров ТНЕТА и РНІ. Эти значения можно сделать изменяющимися при движении цели по диаграмме направленности.

На рисунке 9 представлена фотография готового устройства, состоящего из платы 7,62×7,62 мм, двух антенн Вивальди для приёма и передачи сигнала, а также макетной платы и источника питания на обратной стороне тестовой платы. Радар целиком помещается на ладони. Антенны были спроектированы так, чтобы их можно было соединить двумя деревянными стержнями и разнести в пространстве для обеспечения дополнительной изоляции приёмного и передающего каналов при соединении с платой с помощью коаксиальных кабелей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сквозное проектирование радиолокационной системы с частотно-модулированным непрерывным излучением было полностью выполнено в NI AWR Design Environment. Обновлённая система показала лучшие характеристики, позволила снизить стои-

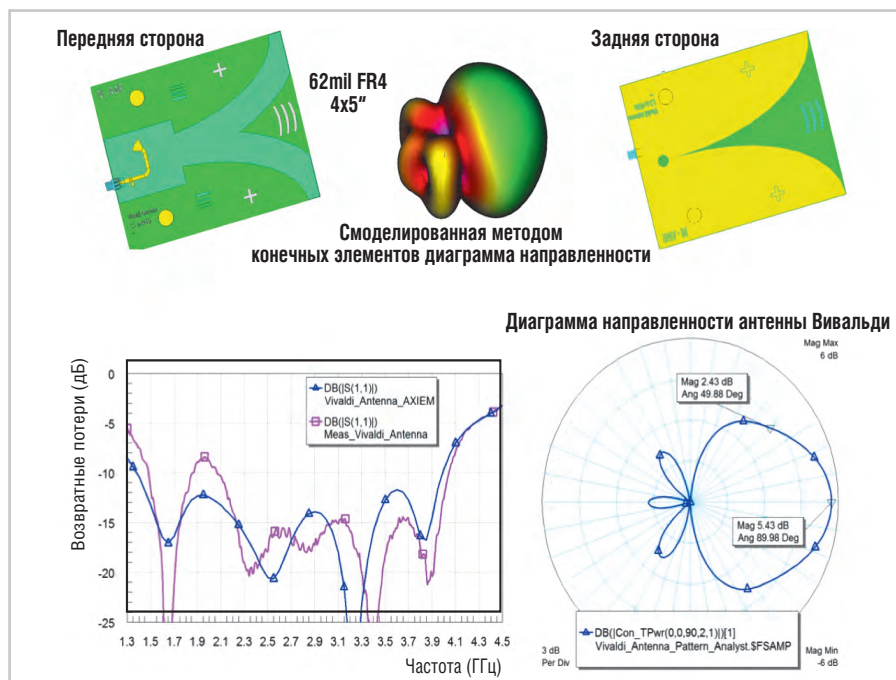


Рис. 8. Планарные антенны Вивальди, заменившие кофейные банки

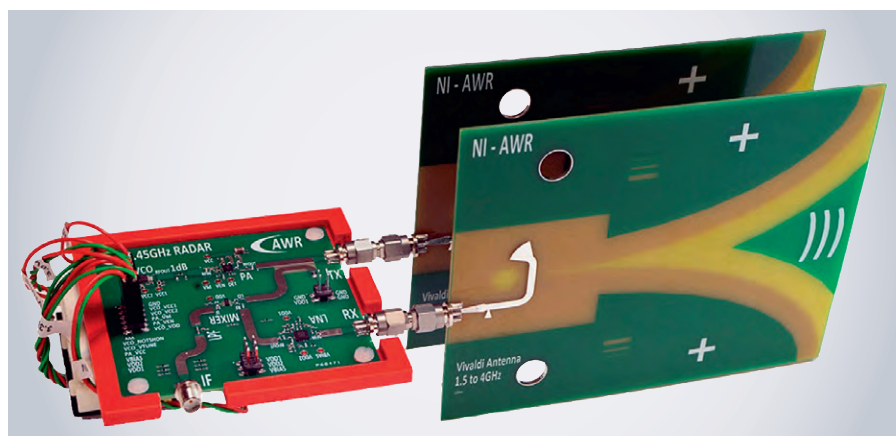


Рис. 9. Готовый радар обновлённой конструкции, состоящий из платы, антенн Вивальди и источника питания

мость проекта, а также была выполнена в существенно меньшем форм-факторе по сравнению с оригинальной конструкцией.

Программное обеспечение NI AWR и, в частности, системный модуль VSS позволили напрямую сравнить характеристики двух систем путём каскадного анализа и моделирования во временной области. Встроенная библиотека элементов систем радиолокации упростила построение модели цели и обработку сигнала. Благодаря лёгкости работы с топологией и простоте ЭМ-моделирования планарных антенн вся система целиком была быстро спроектирована и построена. Совместное моделирование элементов радара, включая антенны, интегральный ответвитель, аттенуатор и фильтр нижних частот, было выполнено без каких-либо

проблем, поскольку все схемотехнические элементы моделировались в составе системной диаграммы.

Подробнее ознакомиться с проектом можно непосредственно в программе NI AWR Design Environment, где он доступен в перечне примеров под названием «CoffeeCanRadar_SMT_Redesign».

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Schneider. Coffee-can Radar: How to Build a Synthetic Aperture Imaging System with Tin Cans and AA Batteries // IEEE Spectrum, Nov. 1, 2012: <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/coffeecan-radar>
2. G. Chharvat, J. H. Williams, A. Fenn, S. Kogon, J. S. Herd. Build a Small Radar System Capable of Sensing Range, Doppler, and Synthetic Aperture Radar Imaging