

Несмотря на возможности, которые открывают перед исследователями эти программные продукты, их применение в различных областях научных исследований сталкивается с рядом вызовов. Некоторые программы могут быть ресурсоемкими, что ограничивает их использование на некоторых платформах. Использование определенного программного обеспечения требует специальных навыков, что может быть вызывать трудности для исследователей.

При рассмотрении инструментов, применяемых для численного моделирования, следует особое внимание уделить изучению тенденции, которые формируют будущее программного обеспечения и его влияние на современные научные исследования и промышленные практики. В последнее время наблюдается тренд на интеграцию различных методов в единый пакет с целью более комплексного численного моделирования. Развитие вычислительных алгоритмов направлено на постоянное совершенствование численных методов, включая создание более точных и эффективных. Расширение возможностей виртуальных экспериментов, усиление виртуальных экспериментов, позволяющее создавать более сложные и точные виртуальные модели.

Заключение. В результате исследования выявлены ключевые характеристики программного обеспечения для численного моделирования. Программы, такие как OpenFOAM, предоставляют открытые решения для научного сообщества, в то время как коммерческие пакеты, например, ANSYS, обеспечивают более широкий функционал и высокий уровень поддержки. Результаты исследования подчеркивают важность выбора подходящего программного обеспечения в зависимости от конкретных задач и требований исследования. Преимущества включают увеличение эффективности исследований и широкий спектр возможных задач. Однако ограничения, такие как высокие требования к вычислительным ресурсам и необходимость специализированных навыков, могут стать вызовом для исследователей.

1. OpenFoam // The OpenFoam Foundation. – URL: <https://openfoam.org/> (дата обращения: 07.11.2023).
2. Алексеев, Е. Р. А. Scilab: Решение инженерных и математических задач. / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова, Е. Рудченко. – М.: ATL Linux; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 260 с.
3. Корешкова, И. А. История математического моделирования и технологии вычислительного эксперимента / И. А. Корешкова // Научные исследования в образовании. – 2009. – №4. – С. 33–44.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОММУТАТОРА АНТЕНН В ДВУХКАНАЛЬНОМ ФАЗОВОМ РАДИОПЕЛЕНГАТОРЕ

Полещук М.И., Трофименков А.Л.,

*молодые ученые, Военная академия Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Бойкачев П.В., канд. техн. наук, доцент*

Ключевые слова. Высокочастотный коммутатор, антенная система, коэффициент передачи, пеленгационная пара, приемопередатчик.

Key words. High-frequency switchboard, antenna system, transmission coefficient, direction finding pair, transceiver.

Высокочастотное излучение средств радиосвязи БЛА является основным демаскирующим признаком для радиоэлектронной разведки. Но в то же время, возникает проблема измерения азимута на источник излучения одновременно с приемом сигналов по другим направлениям. Необходимость ведения постоянного мониторинга радиочастоты с разных азимутальных направлений требует наличия одного или нескольких приемных каналов. Но в то же время, средства радиотехнической и радиоэлектронной разведки, в свою очередь, должны обладать малогабаритностью, простой реализацией, невысокой стоимостью и достаточной точностью определения направления на источник радиоизлучения. Одним из таких средств разведки является двухканальный фазовый радиопеленгатор, который позволяет определить направление на источник радиоизлучения.

Материал и методы. В данном радиопеленгаторе обработка сигналов реализована на основе двухканального приемопередатчика LimeSDR. Он является относительно дешевым и простым с точки зрения реализации. LimeSDR обладает встроенными аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями, работает в диапазоне частот 100 кГц – 3,8 ГГц.

В качестве антенного элемента используется биконическая антенна (рисунок 1а). Антенная система состоит из двух ортогональных пеленгационных пар (ПП), ориентированных в направлениях “север-юг” и “восток-запад” (косинусоидная и синусоидная диаграмма направленности ПП) (рисунок 1б). Вследствие ограниченного количества каналов обработки, реализован последовательный обзор пространства путем непрерывного вращения ДНА (электронное сканирование) в виде кардиоиды.

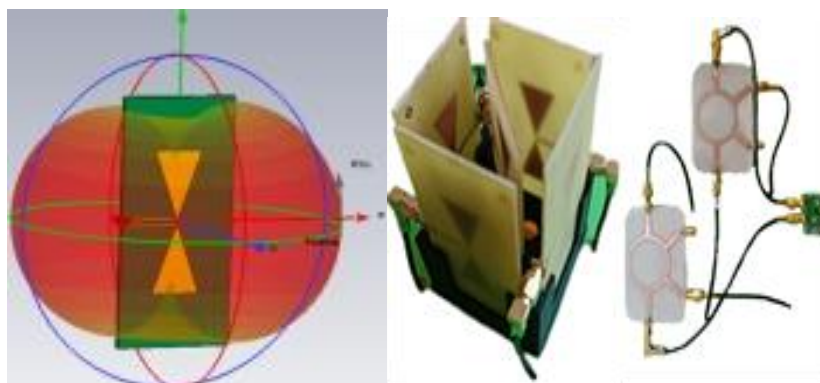


Рисунок 1: *a* – внешний вид одного АЭ (биконической антенны) и его ДНА;
b – внешний вид антенной системы

Для вычитания сигналов двух ПП на высокой частоте используется пара кольцевых мостов, работающих в диапазоне частот 2,4 – 2,6 ГГц.

Применение двухканального приемопередатчика LimeSDR требует использование комбинаторного подключения к входному контуру приемника разностного напряжения ПП. Следовательно, сигнал центрального АЭ подается на вход первого канала приемопередатчика LimeSDR, используемый для решения задач обнаружения ИРИ и формирования результирующей ДНА. Ко второму каналу через высокоскоростной коммутатор подключаются разностные сигналы ПП. Микроконтроллер по синхроимпульсам, поступающим с LimeSDR, управляет коммутатором (рисунок 2).

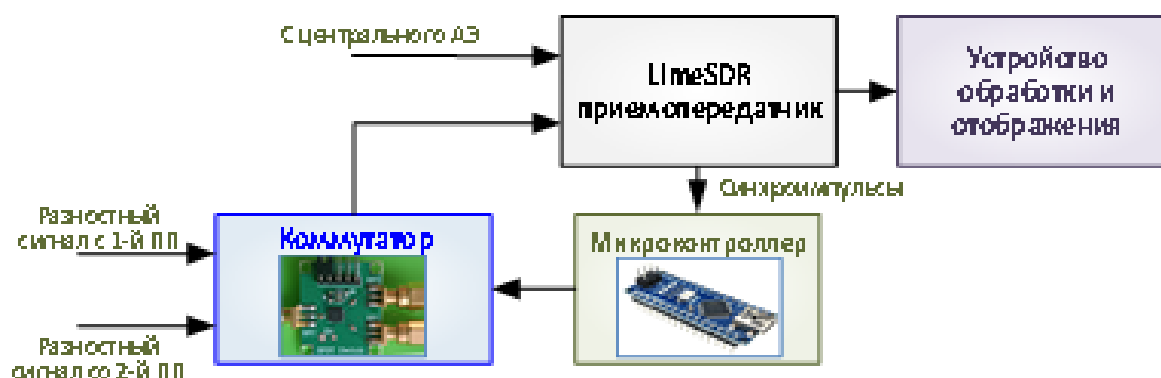


Рисунок 2 – Схема подключения коммутатора к антенной системе и приемопередатчику LimeSDR

В основе платы управления стоит микроконтроллер STM32F103VET6 в корпусе LQFP100. Работа кода программы подразумевает вывод тактового сигнала с заданной частотой на управляющие входы коммутатора и передачу информации о переключении коммутатора по UART на ЭВМ.

Результаты и их обсуждение. В двухканальном фазовом радиопеленгаторе в качестве коммутатора используется микросхема HMC349 (рисунок 3), которая имеет коэффициент передачи $-0,9$ дБ на частоте 1 ГГц при частотном диапазоне 0–4 ГГц. Частотные зависимости коэффициента передачи в выключенном состоянии для коммутатора HMC349 показаны на рис. 4. Потери в этом случае велики и свидетельствуют о высокой степени изоляции отключаемых выводов.

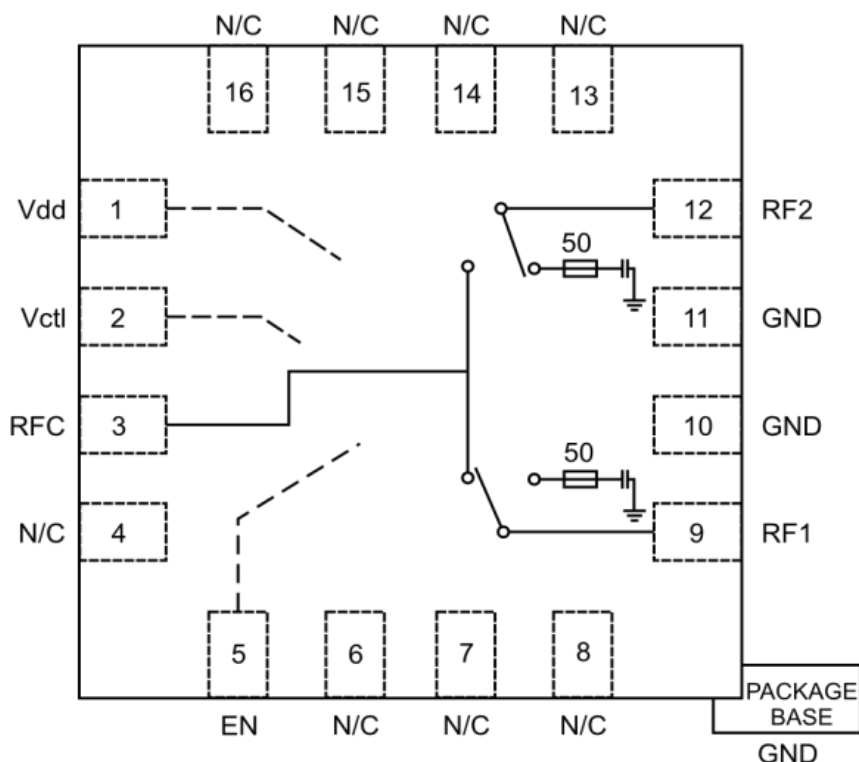


Рисунок 3 – Функциональная схема широкополосного коммутатора HMC349

В качестве коммутатора используется транзисторный переключатель HMC349AMS8G. Сверхминиатюрный размер микросхемы и очень малые паразитные реактивности позволяют расширить диапазон частот коммутируемых сигналов.

HMC349AMS8G – это универсальный, неотражающий однополюсный четырехтактный переключатель (SP4T) с частотой от 100 МГц до 4 ГГц, изготовленный с использованием арсенида галлия (GaAs). Этот коммутатор обеспечивает высокую изоляцию (43 дБ, характерную для частоты 2 ГГц) и низкие вносимые потери (0,7 дБ при частоте 2 ГГц).

Для HMC349AMS8G требуется положительное напряжение питания, подаваемое на вывод VDD. Для минимизации радиочастотной связи на линиях питания используются блокировочные конденсаторы. HMC349AMS8G внутренне согласован на 50 Ом с RF common port (RFC) и RF throw-портах (RF1 и RF2), соответственно никаких внешних согласующих компонентов не требуется.

Все радиочастотные порты подключены к постоянному току. В радиочастотных портах используются конденсаторы блокировки постоянного тока. Их конструкция является двунаправленной – входной радиочастотный сигнал может подаваться на порт RFC, в то время как выходной – на порт RF1 или RF2, или наоборот.

В HMC349AMS8G встроен драйвер для выполнения внутренних логических функций и предоставления пользователю преимуществ упрощенного управления. Драйвер оснащен двумя контактами ввода цифрового управления – CTRL и EN. Когда логический вывод EN находится на низком уровне (low), путь RF1 к RFC находится в состоянии вносимых потерь, а путь RF2 к RFC находится в состоянии изоляции, или наоборот, в зависимости от логического уровня, применяемого к выводу CTRL. Тракт с вносимыми потерями

(например, RF1-RFC) одинаково хорошо проводит радиочастотный сигнал в обоих направлениях – между портом передачи (например, RF1) и общим портом (RFC).

При выборе коммутатора руководствуются скоростью его переключения. Она определяется характеристиками сигналов каналов управления и видео малоразмерных БЛА. Несмотря на их разнообразие типов, моделей и производителей можно выделить следующие параметры сигналов: минимальная длительность сигнала канала управления БЛА $T_{0\text{кy}} = 500$ мкс; ширина спектра одиночного сигнала канала управления БЛА $\Delta f_{0\text{кy}} = (0,3...2)$ МГц; полоса сетки псевдослучайной перестройки частоты сигнала канала управления БЛА $\Delta F_{\text{кy}} = 80$ МГц; длительность видео сигнала, передаваемого с БЛА оператору $T_{0\text{в}} = (2...3)$ мс; ширина спектра видео сигнала, передаваемого с БЛА оператору $\Delta f_{0\text{в}} = 20$ МГц.

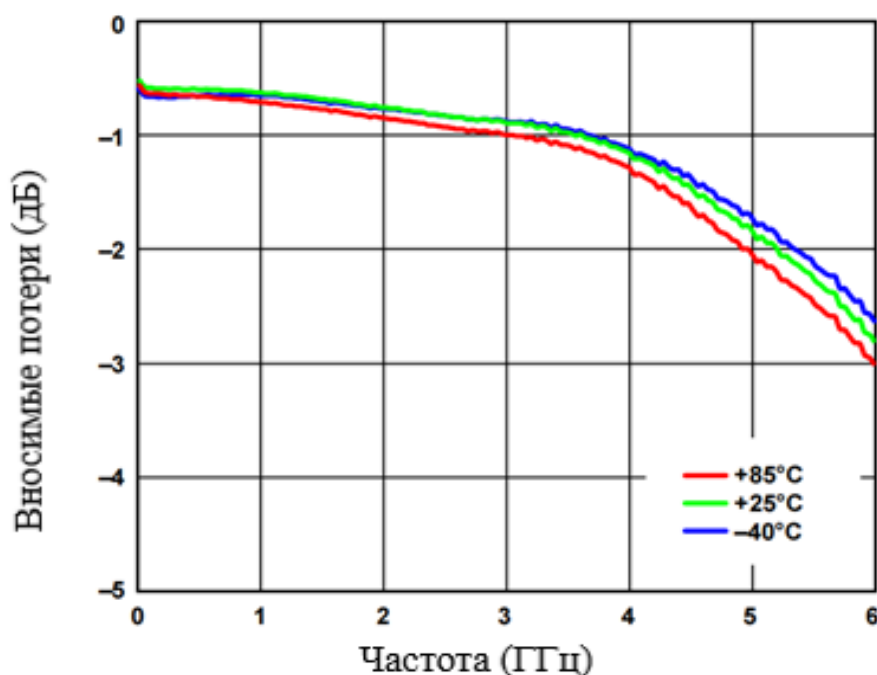


Рисунок 4 – Вносимые потери между портами RFC и RF1

Кроме того, для уменьшения ошибок определения пеленга необходимо формировать не менее 5–7 оценок за один контакт с ИРИ.

Закключение. Таким образом, задавшись наихудшими условиями формирования оценки направления на ИРИ (минимальными длительностью сигнала канала управления БЛА и количеством оценок пеленга) выработаны главные требования к коммутатору и разработана антенная система радиопеленгатора (рис. 1 б) с характеристиками: частота переключения АЭ – 5 кГц; время приема сигнала одним АЭ – 50 мкс; цикл обзора (полный оборот ДНА в горизонтальной плоскости) – 200 мкс.

Выбранная частота переключения АЭ $\Omega_A = 5$ кГц, обеспечиваемая высокоскоростным коммутатором, позволяет формировать минимум 5–7 оценок пеленга за один контакт с ИРИ при наименьшей длительности сигнала БЛА ($T_{0\text{кy}} = 500$ мкс).

1. Макаренко, С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография / С. И. Макаренко. – СПб.: Научные технологии, 2020. – 204 с.

2. Рембовский, А. М. Автоматизированные системы радиоконтроля и их компоненты / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин ; под ред. А. М. Рембовского. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2022.