

УДК 621.396.677

М.Н. Ясечко, И.В. Красношапка, М.И. Литвиненко

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОСТРОЕНИЮ ПЕРЕДАЮЩИХ ТРАКТОВ ДЛЯ СРЕДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Проведен краткий обзор возможного применения средства функционального поражения радиоэлектронных средств. Предложен вариант построения передающих трактов для средства функционального поражения радиоэлектронных средств.*

**Ключевые слова:** фазированная антенная решетка, функциональное поражение, радиоэлектронные средства.

### Введение

Актуальность борьбы с БПЛА в современных военных конфликтах является безусловной, поэтому борьба со СВН (далее – средства воздушного нападения), включая БПЛА, должна вестись всеми зенитными ракетными и артиллерийскими комплексами, которые имеются на вооружении, а также уничтожаться авиацией. Однако применение зенитных управляемых ракет для уничтожения БПЛА не всегда целесообразно в силу высокой стоимости ракет и низкой их эффективностью при поражении малоразмерных малозаметных целей. Следовательно, учитывая нецелесообразность с точки зрения системотехнического критерия «эффективность-стоимость» использования зенитных управляемых ракет для уничтожения БПЛА, а также в сложности их наведения, возникает необходимость в поиске новых технических путей противодействия БПЛА. В настоящее время одним из перспективных направлений считается создание ЭМО (далее – электромагнитное оружие), представляющее собой воздействие мощного ЭМИ (далее-электромагнитное излучение) на РЭС.

Одним из перспективных направлений создания средств ФП (далее – функциональное поражение) является разработка многофункциональных РТС с передающими фазированными антенными решетками, обеспечивающими фокусирование ЭМИ в заданную точку пространства. При этом параметрами, управляющими формированием заданной структурой поля и достижением необходимых уровней мощности, являются не только амплитудное и фазовое распределение в апертуре ФАР, но также частотное и временное распределения. Необходимо также отметить, что в последнее время особый интерес у разработчиков для реализации ФП вызывают цилиндрические ФАР, обладающие рядом преимуществ перед плоскими. В связи с этим, определенный интерес представляет обзор методов фокуси-

рования ЭМИ с различными возможностями управления распределениями токов в апертуре ФАР [4].

Первоначально задача фокусирования возникла при проведении ближнезонных измерений диаграмм направленности крупноапертурных антенн. Используемые при этом пространственно-фазовые методы фокусировки ЭМИ в зоне Френеля позволили добиться достаточно хороших результатов [1]. Следующим шагом на пути развития средств и методов фокусировки были вопросы, связанные с созданием "электромагнитного снаряда".

Модификации традиционных методов управляемой фокусировки ЭМИ с использованием на их основе взаимосогласованного пространственного, амплитудного, фазового, частотного и временного управления параметрами сигналов по апертуре излучателей ФАР являются наиболее универсальными.

В то же время, основными проблемными вопросами является необходимость разработки принципиально новых импульсных устройств формирования сигналов.

### Основная часть

Для оценки возможностей построения формирующих каналов средства ФП необходимо также проанализировать различные варианты технической реализации передающих каналов средств ФП БПЛА на основе равнодискретных одноступенчатого и многоступенчатого V-образных распределений частот по апертуре цилиндрической ФАР: с использованием цифровых и аналоговых устройств передающих трактов, систем синхронизации и передачи данных.

Для выполнения задачи построения передающих трактов для средства функционального поражения радиоэлектронных средств необходимо предъявить требования к параметрам фазированной антенной решетке средства функционального поражения.

Предложена конструкция антенной системы, позволяющей осуществлять внутриполосное ФП БПЛА в диапазоне частот от 10 ГГц до 12 ГГц. Так, как показано в [7], для дальности действия  $R=5$  км в МЧ средствах ФП целесообразно использовать цилиндрическую ФАР с максимальным размером апертуры  $L=2,54$  м; шаг решетки вдоль направляющей  $d_x=1,0\lambda$ ,  $d_y=0,8\lambda$  где  $\lambda \cong 0,03$  м.

Для количества излучателей  $M_x=88$  в плоскости направляющей радиус цилиндра составит 1,25 м, количество излучателей, принимающих участие в формировании поля –  $N=88 \times 20=1760$ , КНД антенны – 37 дБ. Уточненное значение мощности, подводи-

мой к антенной при излучении одиночного сигнала составляет  $P_{изл}=0,25$  МВт или для одного излучателя  $P_{изл}=142$  Вт.

По сравнению с фокусировкой ЭМИ на основе нелинейных законов ПФЧ и ПФЧВ управления излучаемыми сигналами, применение равнодискретных V-образных распределений частот по апертуре ЦФАР при создании МЧ ПВС ПФЧ методом управления позволяет упростить устройства формирования как одиночных, так и пачек периодических последовательностей МЧ ПВС.

Структурная схема предлагаемого передающего тракта представлена на рис. 1.

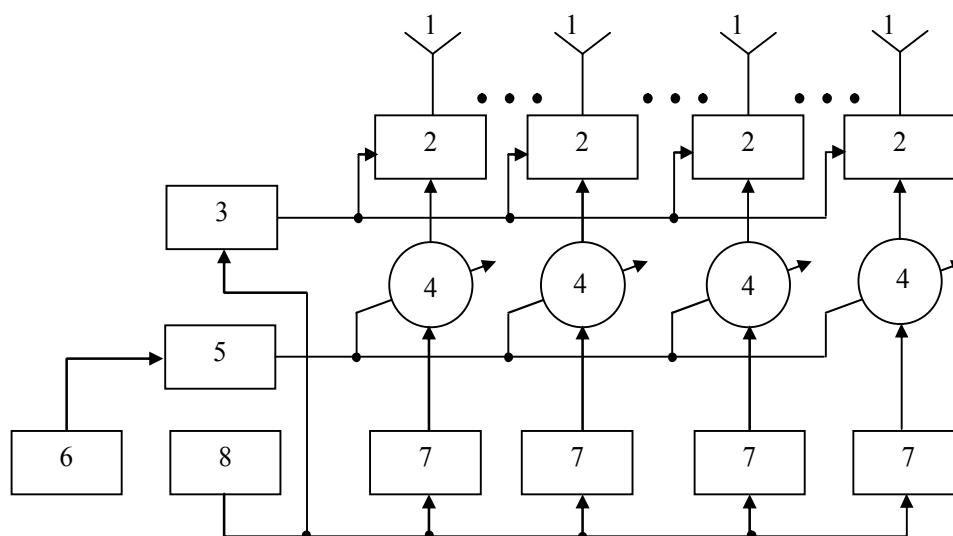


Рис. 1. Блок-схема передающих каналов цилиндрической ФАР средства ФП РЭС

С учетом того, что количество элементов ФАР, создающих необходимое поле в заданном направлении, существенно меньше общего количества элементов ФАР, позволяет существенно упростить конструкцию передающего тракта. Предлагается вариант построения передающей ФАР с ПФЧ управлением излучаемыми сигналами, на основе современных технических решений, основанных на твердотельной полупроводниковой технике.

На рис. 1 представлена блок-схема передающих каналов заявляемой цилиндрической ФАР, на которой введены обозначения:

- 1 – излучатели;
- 2 – усилители мощности;
- 3 – импульсный модулятор;
- 4 – управляемые фазовращатели (УФ);
- 5 – система управления фазовращателями (СУФ);
- 6 – спецвычислитель;
- 7 – система формирования когерентной сетки частот (СФСЧ);
- 8 – блок управления.

Система формирования когерентной сетки частот реализована с помощью системы косвенного синтеза на основе фазовой автоматической под-

стройки частоты (Phase-Locked Loop, PLL). Такие синтезаторы позволяют получить синусоидальный сигнал с частотой в гигагерцы и дискретностью менее ста герц, синхронный опорной частоте и фазовой стабильностью не хуже, чем у опорного генератора.

Кроме того, синтезаторы на основе ФАПЧ обеспечивают высокую спектральную чистоту сигнала, необходимую для радиолокационной аппаратуры высокого разрешения. Компания Analog Devices выпускает широкий спектр микросхем ФАПЧ и синтезаторов на основе ФАПЧ. Синтезаторы частоты с ФАПЧ представлены семейством из 9 микросхем ADF4360-0/1/2/3/4/5/6/7/8, реализованных по единой структурной схеме.

Схема синтезатора содержит:  
встроенный генератор,  
управляемый напряжением (ГУН),  
цифровой детектор, выполненный на основе фазового компаратора,  
входной делитель с целочисленным коэффициентом деления;  
петлевой делитель также с целочисленным коэффициентом деления.

В качестве блока управления может использоваться любой микропроцессор, подходящий под соответствующие задачи.

В фазовращателях, которые управляются соответствующими сигналами, поступающими от блока управления фазами (спецвычислителя), устанавливаются начальные фазы выходных сигналов  $\Phi_{0mn}$  в зависимости от выбранного углового направления излучения.

С помощью импульсного модулятора, например серии МИ1, реализуется импульсный режим работы усилителей наносекундной длительности, в соответствии с выбранным режимом.

Для достижения заданной выходной мощности в качестве усилителей можно использовать усилители типа МРКМ-14500/R концерна General Dynamics (до 500 Вт на частотах до 14,5 ГГц). В усилителе используется сложение мощностей 8–16 транзисторных субблоков.

Кроме того, они оснащены развернутыми подсистемами управления, модуляции, расширения динамического диапазона.

## Вывод

Таким образом, рассмотренный вариант технической реализации формирующих каналов средств ФП радиоэлектронных систем БПЛА на основе равнодискретных одноступенчатого и многоступенчатого V-образных распределений частот по апертуре цилиндрических ФАР достаточно легко могут быть реализованы на основе использования цифровых устройств формирования несущих частот с использованием освоенных промышленностью СВЧ элементов передающих трактов, систем синхронизации и передачи данных.

Исходя из вышесказанного, вариант технической реализации передающих каналов цилиндрической ФАР средства ФП РЭС получает дальнейшее развитие по сравнению с передающим каналом средства ФП РЭС на основе использования генератора гармоник [6].

## Список литературы

1. Гомозов А.В. Фокусировка электромагнитного излучения и ее применение в радиоэлектронных средствах СВЧ / А.В. Гомозов, В.И. Гомозов, Г.В. Ермаков, С.В. Титов; под ред. В.И. Гомозова. – Х.: "Городская типография, 2011. – 330 с.
2. Гомозов В.И. Новый метод фокусировки электромагнитных излучений / В.И. Гомозов, А.В. Гомозов // Антенны. – 2001. – Вып. 3(49). – С. 54-60.
3. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие / В.И. Кравченко. – Х.: Изд-во НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с.
4. Кравченко В.И. Оружие на нетрадиционных физических принципах: Электромагнитное оружие / В.И. Кравченко. – Х.: Изд-во – "НТМТ", 2009. – 266 с.
5. Формирование направленного пространственно-временного импульса путем пространственно-частотно-фазовой модуляции сигналов в каналах передающей ФАР / В.А. Александров, Ю.П. Бабков, В.И. Гомозов и др. // Научные проблемы совершенствования радиоэлектронных средств и систем ПВО с использованием новых технических решений и принципов построения. – Х.: ВИРТА, 1991. – Вып. 28. – С. 174-182.
6. Ясечко М.Н. Рекомендации по технической реализации формирующих каналов цилиндрических фазированных антенных решеток с V-образными распределениями частот по апертуре для средств функционального поражения БПЛА / М.Н. Ясечко, О.М. Воробийов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 4(111). – С. 48-51.
7. Ясечко М.Н. Излучение последовательностей многочастотных пространственно-временных сигналов цилиндрическими антенными решетками с заданными характеристиками / М.Н. Ясечко, Г.В. Ермаков // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 1 (27). – С. 119-122.

Поступила в редколлегию 27.03.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОБУДОВИ ПЕРЕДАЮЧИХ ТРАКТІВ ДЛЯ ЗАСОБУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

М.М. Ясечко, І.В. Красношарпа, М.І. Литвиненко

*Проведено короткий огляд можливого застосування засобу функціонального ураження радіоелектронних засобів. Запропоновано варіант побудови передаючих трактів для засобу функціонального ураження радіоелектронних засобів.*

**Ключові слова:** фазована антенна решітка, функціональне ураження, радіоелектронні засоби.

## RECOMMENDATIONS ON BUILDING THE TRANSMISSION PATH FOR FUNCTIONAL DAMAGE RADIO-ELECTRONIC MEANS

M.N. Iasechko, I.V. Krasnoshapka, M.I. Litvinenko

*Provide a brief overview of the possible use of functional tools of radio-electronic means. Variant of building the transmission path for functional damage radio-electronic means*

**Keywords:** electromagnetic compatibility, functional damage, radio-electronic means.