

---

УДК 621.396.677

М.Н. Ясечко, О.М. Воробьев

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ФОРМИРУЮЩИХ КАНАЛОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С V-ОБРАЗНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ ЧАСТОТ ПО АПЕРТУРЕ ДЛЯ СРЕДСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ БПЛА

*В статье приведены варианты технической реализации формирующих каналов средств функционального поражения БПЛА на основе одноступенчатого и многоступенчатого V-образных распределений частот по апертуре цилиндрических фазированных антенных решеток.*

**Ключевые слова:** V-образное распределение частот, функциональное поражение, фазированные антенные решетки.

### Введение

Для оценки возможностей построения формирующих каналов средства функционального поражения (ФП) необходимо проанализировать различные варианты технической реализации передающих каналов средств функционального поражения бес-

пилотного летательного аппарата (БПЛА) на основе равнодискретных одноступенчатого и многоступенчатого V-образных распределений частот по апертуре цилиндрической фазированной антенной решетки (ЦФАР) с использованием цифровых и аналоговых устройств передающих трактов, систем синхронизации и передачи данных.

### Основная часть

По сравнению с фокусировкой электромагнитных импульсов (ЭМИ) на основе нелинейных законов пространственно-фазо-частотного (ПФЧ) и пространственно-фазо-частотно-временного (ПФЧВ) управления излучаемыми сигналами [1], применение равнодискретных V-образных распределений частот по апертуре цилиндрической антенной решетки (ЦФАР) при создании много-частотного пространственно-временного сигнала (МЧ ПВС) ПФЧ методом управления позволяет упростить устройства формирования как одиноч-

ных, так и пачек периодических последовательностей МЧ ПВС. Структурная схема формирующего канала средства ФП с ЦФАР, реализующего ПФЧ метод формирования МЧ ПВС, приведена на рис. 1.

В настоящее время для формирования сигналов промежуточных частот широко применяются цифровые технологии. Рассмотрим вариант технической реализации формирующего канала средства ФП БПЛА с ПФЧ фокусировкой на основе использования фазокогерентного цифрового синтезатора частот (ЦСЧ). Структурная схема такого варианта представлена на рис. 1.

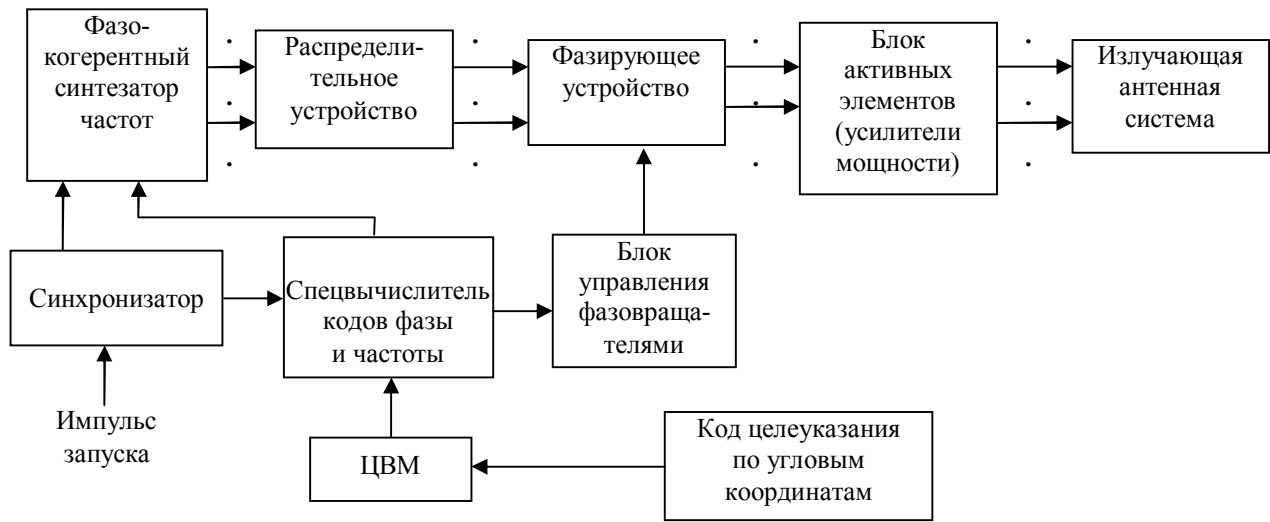


Рис. 1. Структурная схема передающего канала средства ФП

Принцип его работы заключается в следующем. После приема внешнего целеуказания (ЦУ) в центральной вычислительной машине (ЦВМ) производится завязка траектории БПЛА, после чего рассчитываются координаты упрежденной точки и осуществляется выбор «рабочей» зоны ЦФАР, т.е. выбор сектора излучателей для последующего их возбуждения (фактически эта операция соответствует конформному сканированию).

Выбор кодов частоты  $k_f$  и фазы  $k_\phi$  осуществляется спецвычислителем в соответствии с выражениями (1) и (2):

$$f_{0mn} = f_0 + m\Delta F_x + F_{доп}, \quad (1)$$

где  $f_0$  – несущая частота центрального излучателя;

$$F_{доп} = \frac{c}{2\pi R_{ц}} \frac{1}{[1 - \cos(m\delta\alpha)]} - \text{добавочная частота, позволяющая обеспечить синфазность плоско-}$$

го эквивалентного раскрыва [2];

$$f_{0mnz} = f_0 + v \left[ \frac{n}{v} \right] \Delta F_z, \quad (2)$$

$$f_{0mnx} = f_0 + v \left[ \frac{m}{v} \right] \Delta F_x + F_{доп}^M,$$

$$\text{где } F_{доп}^M = \frac{c}{2\pi R_{ц}} \frac{1}{\left\{ 1 - \cos \left( v \left[ \frac{m}{v} \right] \delta\alpha \right) \right\}}.$$

С выхода синхронизатора на входы 1 ЦСЧ  $1...N_f$  поступают тактовые импульсы с частотой  $f_T = 1/T_{п}$ , где  $T_{п}$  – период следования тактовых импульсов. Эти же импульсы через делитель частоты с коэффициентом деления  $k_d = F_3/f_T$ , где  $F_3$  – частота зондирования, в качестве синхроимпульсов поступают на формирователь строба, где создается импульс длительностью  $T_c = nT_{МЧПВС}$ , равной длительности излучаемых формирующими каналами сигналов. Стробующий импульс поступает на входы 2 ЦСЧ  $1...N_f$ , на входы 3 и 4 которых подаются коды несущей частоты  $k_f$  и начальной фазы  $k_\phi$  с вычислителя кодов фазы и частоты.

Предполагается, что качественно анализ ФП БПЛА может быть определен по изменению траектории его движения, которая в случае поражения цели будет отличаться от завязанной ранее.

В каждом канале ЦСЧ  $1...N_f$  формируются радиоимпульсы длительностью  $T_c$  и периодом следо-

вания  $T_3 = 1/F_3$ , частотой гармонических колебаний  $F_{0mn}$  и начальной фазой  $\Phi_{0mn}$ .

Точность установки частоты  $F_{0mn}$  синтезируемого колебания  $\Delta f = f_T/M$ , начальной фазы

$$\Phi_{0mn} - \Delta\varphi = 2\pi/M,$$

где  $M = 2^k$  – емкость накапливающего сумматора;  $k$  – количество разрядов.

Поступающий на вход 2 ЦСЧ стробирующий импульс является импульсом запуска сдвигающего регистра. На вход 3 ЦСЧ поступает код частоты синтезируемого колебания

$$k_f = (f_{0mn}/f_T) M = (f_0/k_y f_T) M = \sum_{i=1}^k a_i 2^{i-1},$$

а на вход 4 – код начальной фазы

$$k_\varphi = (\varphi_0/k_y 2\pi) M = \sum_{i=1}^k b_i 2^{i-1},$$

где  $k_y$  – коэффициент умножения в умножителях частоты;  $a_i, b_i = \{0, 1\}$  – коэффициенты двоичного кода.

В дискретные моменты времени в накапливающем сумматоре, состоящем из сумматора 1 и сдвигающего регистра, вычисляется код текущей фазы

$$k_{\varphi 0}(r) = \sum_{n=1}^r k_{fn} - M \operatorname{ceil} \left\{ \frac{1}{M} \sum_{n=1}^r k_{fn} \right\}.$$

Накапливающий сумматор (НС) производит вычисление фазы в диапазоне от 0 до  $2\pi$  радиан. После НС в сумматоре 2 складываются код начальной фазы  $k_\varphi$  и код текущей фазы  $k_{\varphi 0}(r)$  и образуется код мгновенной фазы синтезируемого колебания

$$k_{\varphi c}(r) = k_\varphi + k_{\varphi 0}(r),$$

который поступает на вход постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) в качестве кода адреса. ПЗУ преобразует код адреса в код амплитуды

$$k_u(r) = \operatorname{ceil} \left\{ \frac{2^S - 1}{2} \left( 1 + \cos \frac{2\pi k_{\varphi c}}{M} \right) + 0,5 \right\},$$

где  $S$  – количество входных разрядов ПЗУ и входных разрядов цифроаналогового преобразователя (ЦАП).

Двоичный код амплитуды выборок  $k_u(r)$  поступает на ЦАП, на входе которого формируется ступенчатое напряжение с амплитудами

$$U(r) = \Delta U k_u(r),$$

где  $\Delta U = 2U_0/(2^S - 1)$  – шаг квантования амплитуды.

Выходной сигнал ЦСЧ формируется с помощью полосового фильтра, выделяющего одну из составляющих спектра входной дискретной последовательности.

С выходов ЦСЧ прямоугольные радиоимпульсы на несущей частоте  $F_{0mn}$  и с начальной фазой  $\Phi_{0mn}$  поступают на умножители частоты, где они преобразуются на требуемые несущие частоты рабочего диапазона СВЧ. Далее полосовыми фильтрами отфильтровываются побочные составляющие спектра, возникшие в умножителях частоты. С выходов полосовых фильтров радиоимпульсы через фазовращатели, предназначенные для выравнивания электрических длин трактов передачи сигналов, поступают на входы коммутатора. Для развязки схем формирования сигналов и усилителей мощности устанавливаются ферритовые вентили. Количество частот, формируемых ЦСЧ, определяется для плоской квадратной ФАР как

$$N_f = \operatorname{ceil} \left\{ \left( \frac{N_i - 1}{2\nu} \right) + 1 \right\}, \quad (3)$$

где  $N_i$  – количество излучателей в одной линейке;

$\nu$  – коэффициент уменьшения скважности.

Как видно из (3), количество несущих частот  $N_f$ , необходимых для реализации ступенчатых V-образных законов пространственно-частотного управления сигналами, существенно меньше общего количества элементов ФАР, что позволяет существенно упростить конструкцию ЦСЧ. В коммутаторе производится распределение сигналов с разными частотами по всем излучающим элементам в соответствии с выбранным законом ПФЧ управления. Далее сигналы поступают на управляемые фазовращатели, которые задают направление излучения последовательности МЧ ПВС по командам блока управления фазовращателями (рис. 1).

Для защиты схем коммутации и управления излучением ФАР перед усилителями мощности устанавливаются ферритовые вентили. Усилители мощности под воздействием модулирующих импульсов длительностью  $T_c$  усиливают поступающие на них сигналы. Усиленные сигналы поступают в антенную систему.

Анализ выражения (3) показывает, что в ФАР с большим количеством излучающих элементов для реализации ступенчатого V-образного закона ПЧ управления сигналами количество несущих частот возбуждителя невелико. В этом случае возможно использование метода прямого синтеза частот с использованием генератора гармоник, на выходе которого нужная частота выделяется путем фазовой автоподстройки или фильтрацией.

Возможен также следующий менее сложный аналоговый вариант построения передающей ФАР с

ПФЧ управління излучаемыми сигналами, который представлен на рис. 2.

Сигнал опорного генератора с частотой  $f_0$  поступает на умножитель частоты и на фазовый модулятор. На другой вход фазового модулятора поступает сигнал с выхода умножителя частоты. На выходе фазового модулятора формируется требуемая сетка несущих частот (2), выделяемая соответствующими полосовыми фильтрами. С выходов полосовых фильтров сигналы на несущих частотах  $f_{0mn}$  поступают на распределительное устройство (коммутатор), в котором происходит распределение несущих частот по излучающим модулям ФАР и предварительное усиление.

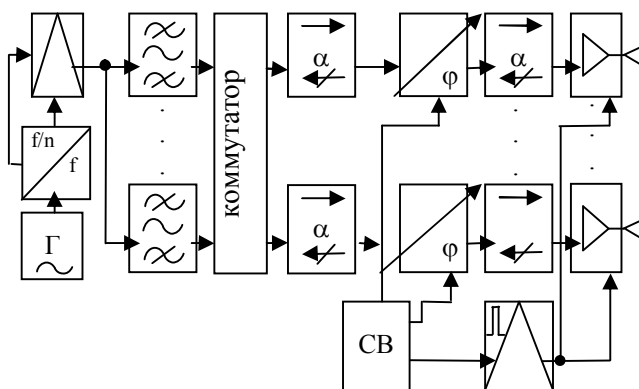


Рис. 2. Структурная схема передающего канала средства ФП на основе использования генератора гармоник

В фазированном устройстве управляемыми фазовращателями в соответствии с управляющими сигналами, поступающими от блока управления фазами (специализированного вычислителя), устанавливаются начальные фазы выходных сигналов  $\varphi_{0mn}$  и выбранным угловым направлением излучения.

Для развязки тракта формирования сигналов и усилителей используются ферритовые вентили.

Усилители мощности с помощью импульсного модулятора включаются в заданные интервалы времени по командам, которые формируются в специализированном вычислителе в соответствии с выбранным режимом работы средства ФП.

## Выводы

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

## Список литературы

1. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие / В.И. Кравченко. – Х.: Изд-во НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с.
2. Воскресенский Д.И. Выпуклые сканирующие антенны (основы теории и методы расчета) / Д.И. Воскресенский, Л.И. Пономарев, В.С. Филиппов. – М.: Сов. радио, 1978. – 301 с.
3. 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.
4. Гомозов В.И. Новый метод фокусировки электромагнитных излучений / В.И. Гомозов, А.В. Гомозов // Антенны. – 2001. – Вып. 3(49). – С. 54-60.

Поступила в редколлегию 20.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Ермаков, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ З ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ФОРМУЮЧИХ КАНАЛІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК З V-ПОДІБНИМИ РОЗПОДІЛЕННЯМИ ЧАСТОТ ПО АПЕРТУРІ ДЛЯ ЗАСОБІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

М.М. Ясечко, О.М. Воробйов

В статті приведені варіанти технічної реалізації формуючих каналів засобів функціонального ураження БПЛА на основі одноступеневого та багаступеневого V-подібних розподілень частот по апертурі циліндричних фазованих антенних решіток.

**Ключові слова:** V-подібне розподілення частот, функціональне ураження, фазовані антенні решітки.

## RECOMMENDATIONS FROM TECHNICAL REALIZATION OF CYLINDRICAL CHANNEL FORMING A PHASED ARRAYS FROM V-VIVID DISTRIBUTIONS OF FREQUENCIES ON APERTURE FOR FACILITIES OF FUNCTIONAL DEFEAT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

M.N. Iasechko, O.M. Vorobyov

In the article the brought variants over of technical realization of forming channels of facilities of functional defeat of unmanned aerial vehicles on the basis onedate and multisedate V-vivid distributions of frequencies on the aperture of cylindrical phased arrays.

**Keywords:** V-vivid distribution of frequencies, functional defeat, phased arrays.