

# Проблемы и принципы построения систем

## пространственной режекции помех на основе когерентного весового суммирования

УДК 621.326.67

### Система пространственной режекции помех на основе когерентного весового суммирования

И.П. Егоров, П.В. Русаков, В.В. Павлов, Д.Д. Ганзий

Рассмотрены вопросы построения системы пространственной режекции помех на основе когерентного весового суммирования. Представлены результаты машинного моделирования.

Questions of construction of system spatial rejection handicapes are considered on the basis of coherent weight summation. Results of machine modeling are submitted.

Теория построения систем пространственной режекции помех (СПРП) достаточно хорошо разработана и представлена, например, в [1,2]. В то же время вопросы реализации подобных систем на основе модуляционного или корреляционного принципа по-прежнему актуальны и требуют своего рассмотрения в каждом частном случае сигнально-помеховой обстановки.

Известно [2 – 4], что СПРП на основе модуляционного принципа могут работать без процессов преобразования частоты, непосредственно на рабочих частотах защищаемой станции связи. Это позволяет упростить аппаратное построение системы, но ухудшает временные характеристики адаптации за счет наличия адаптивного процессора и дополнительного процессора в адаптивной диаграммо-образующей системе необходимого для выравнивания межканальных амплитудно-фазовых рассогласований.

Реализация корреляционного принципа построения СПРП приводит к некоторому усложнению высо-

кочастотной аппаратуры за счет введения преобразователей частоты, но позволяет существенно снизить время адаптации при сохранении глубины подавления помех. Поэтому в ряде случаев, особенно при наличии мерцающих помех, целесообразна разработка СПРП на основе корреляционного принципа или на основе когерентного весового суммирования.

Схема СПРП корреляционного типа представлена на рис. 1, где  $A_o$ ,  $A_k$  – основная и компенсационные антенны; ППФ<sub>o</sub>, ППФ<sub>k</sub> – полосно-пропускающие фильтры основного и компенсационного каналов; МШУ<sub>o</sub>, МШУ<sub>k</sub> – малошумящие усилители соответствующих каналов; СМ<sub>k1</sub>, СМ<sub>k2</sub>, СМ<sub>k3</sub> – смесители частот компенсационного канала с понижением, повышением и понижением частоты соответственно; УПЧ<sub>k1</sub>, УПЧ<sub>k2</sub>, УПЧ<sub>k3</sub> – усилители ПЧ компенсационных каналов; АРКА – автоматический регулятор комплексных амплитуд; ДЗ – делитель мощности на три;  $\Sigma$  – весовой синфазный сумматор мощности; НО – направленный ответвитель; Вход «к» – вход

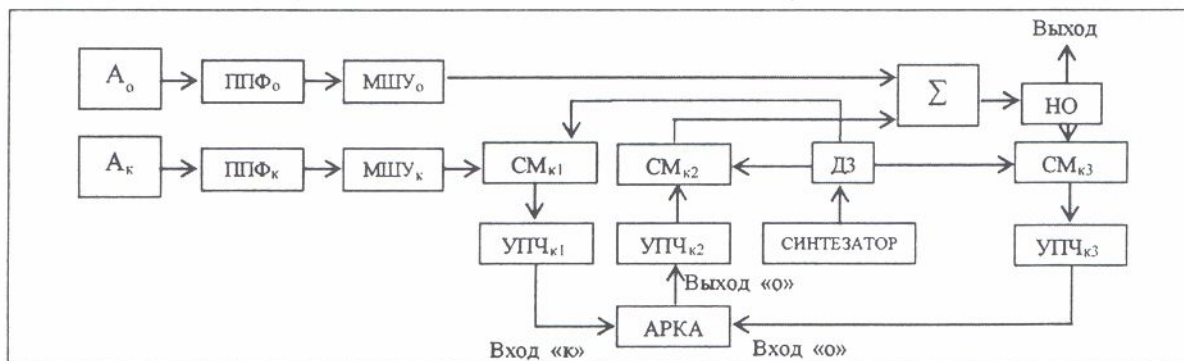


Рис. 1

АРКА для преобразованного сигнала помехи; Вход «о» – вход АРКА для преобразованной аддитивной смеси полезного сигнала и сигнала помехи; Выход «о» – выход АРКА для взвешенного по амплитуде и фазе комплексного напряжения сигнала помехи. За счет когерентности помех, поступающих из основного и компенсационного каналов, в регуляторе комплексных амплитуд формируется комплексное напряжение, которое подается на один из входов синфазного сумматора. Компенсация помех на выходе синфазного сумматора достигается равноамплитудностью и противофазностью помех на его входах.

Предлагаемая функциональная схема автоматического регулятора комплексных амплитуд представлена на рис. 2, где Д2, Д3, Д4 – делители мощности на два, три и четыре соответственно; ФВ 90°, ФВ 180° – фазовращатели на 90° и 180°; УА<sub>1</sub> – УА<sub>4</sub> – управляемые аттенюаторы; С<sub>1</sub> – С<sub>4</sub> – синфазные сумматоры; У<sub>1</sub>, У<sub>2</sub> и

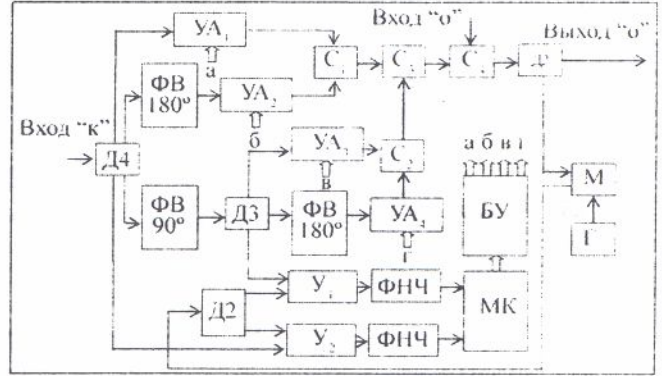


Рис. 2

ФНЧ – умножители и фильтр нижних частот; МК – микроконтроллер; БУ – блок управления; «а», «б», «в», «г» – входы/выходы сигналов управления; М – модулятор; Г – генератор.

Сигнал помехи компенсационного канала подается на вход «к» и делится в делителе мощности Д4 на четыре канала, где осуществляется поворот фазы сигнала на 90°, 180° и 270°. В каналы введены шестизрядные аттенюаторы УА<sub>1</sub> – УА<sub>4</sub> на 31,5 дБ с шагом аттенюации 0,5 дБ. Суммирование сигналов осуществляется в синфазных сумматорах С<sub>1</sub>–С<sub>4</sub>, где вырабатывается сигнал по фазе и амплитуде, противоположный сигналу помехи в основном канале. Устойчивость работы АРКА обеспечивает модулятор низкочастотного сигнала, где осуществляется модуляция сигнала основного канала. Для автоматического подбора сигнала в компенсационном канале по амплитуде и фазе в схему введены два канала детектора фаз на базе умножителей У<sub>1</sub>, У<sub>2</sub> и ФНЧ. На выходах ФНЧ вырабатываются сигналы управления (аттенюаторов УА<sub>1</sub> – УА<sub>4</sub>), которые поступают на входы микроконтроллера, где обрабатываются согласно алгоритму, представленному на рис. 3. При первичном включении устройства, во все выходные регистры БУ записываются константы (А, В, С, D = 31), устанавливающие коэффициент аттенюации по каждому из четырех аттенюаторов в среднее положение. Обнуляются ячейки сумматоров микроконтроллера и производится замер значений управляющих аналоговых сигналов по обоим каналам. Значение записывается в ячейку сумматора и из данного значения вычитается 1/64 измеренного значения (64 – это количество измерений по каждому из каналов). Далее проверяется

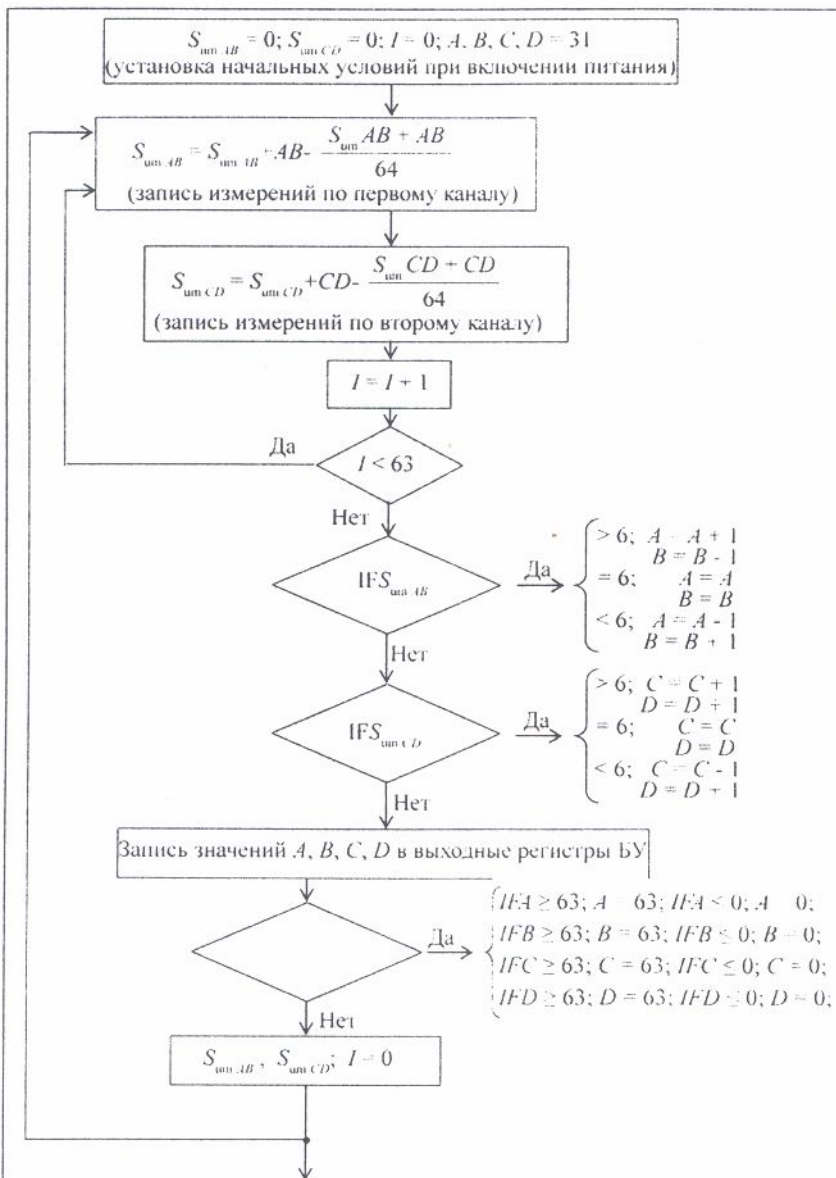


Рис. 3



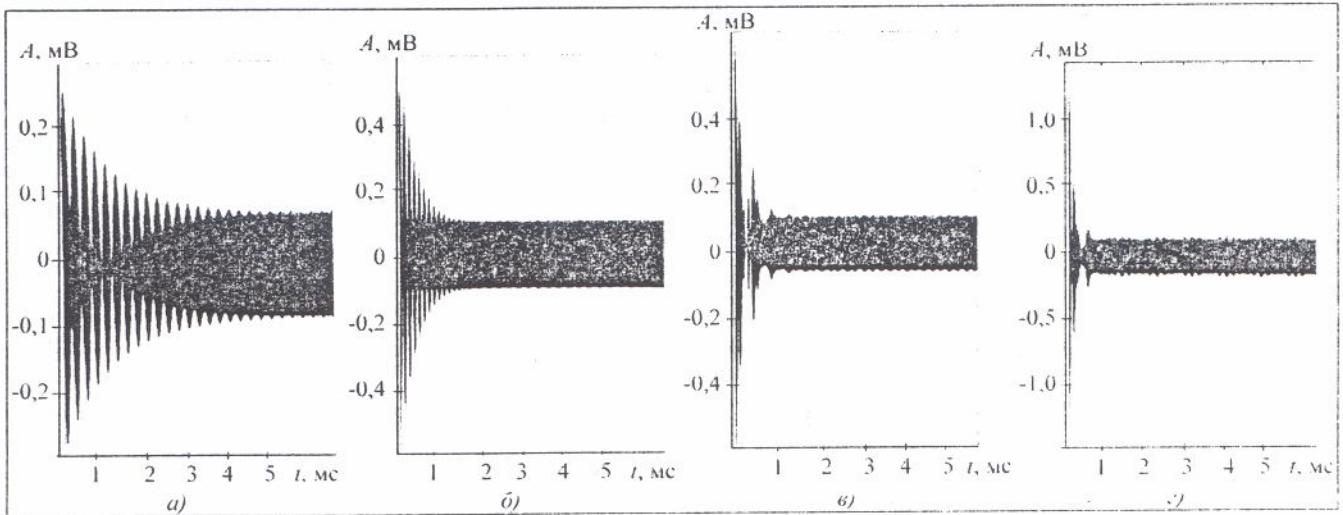


Рис. 4

значение количества замеров, и если оно превышает 63, то микроконтроллер сравнивает полученное значение в сумматоре с константой, определяющей критерий, по которому происходит либо увеличение, либо уменьшение коэффициента аттенюации по каждому из каналов. После определения необходимого коэффициента аттенюации данные значения переписываются в выходные регистры платы управления аттенюаторами. Затем происходит проверка граничных значений коэффициентов аттенюации, чтобы случайно не сбросить их в нижнее значение при движении вверх и наоборот. В конце каждого цикла производится сброс значений в сумматорах и количества тактов в цикле.

На рис.4 представлены результаты машинного исследования предлагаемой схемы АРКА, проведенные в системе моделирования Simulink версия 4.1 для СПРП корреляционного типа. Представленные осциллограммы напряжений на выходе СПРП при действии на защищаемую станцию одной, двух, трех и четырех помех соответственно (рис 4, а, б, в, г) показывают процесс подавления помех в динамическом режиме. Причем амплитуда напряжения полезного сигнала 0,1 мВ, частота 70 МГц; амплитуда напряжения первой помехи 0,5 мВ, частота 90 МГц; второй помехи 0,5 мВ, частота 50 МГц; третьей помехи 0,5 мВ, частота 80,95 МГц; четвертой помехи 0,5 мВ, частота 53,575 МГц. Для случая воздействия одной помехи (рис.4, а), время окончания процесса адаптации примерно 2 мс. При суммарном

действии первой и второй (рис.4. б) время адаптации уменьшается до 1 мс из-за увеличения общей мощности помехового сигнала, что соответствует результатам работ [2 – 4]. Воздействие трех помех с указанными амплитудами приводит к дальнейшему уменьшению времени адаптации до 0,7 мс (рис.4, в). При увеличении общей мощности помехового сигнала до 1,5 мВ время адаптации уменьшается до 0,4 мс. Дальнейшее увеличение количества помех в полосе частот  $70 \pm 20$  МГц не приводит к срыву процесса адаптации, но при этом замедляется скорость адаптации.

● Таким образом, предложенная схема СПРП на основе весового когерентного суммирования позволяет подавить несколько помех или широкополосную помеху в полосе канала приема до 40 МГц в любой точке принимаемого диапазона частот, например, 3,4...3,9 ГГц.

#### Литература

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ. / Под ред. В.А. Лексаченко. - М. Радио и связь, 1986.
2. Лосев Ю.И., Бердюков А.Г., Гойхман Э.Ш., Сизов В.Д. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Под ред. Ю.И. Лосева. - М. Радио и связь, 1988.
3. Патент США №4320535, НОВ1-10.
4. Венскаяускас К.К. Компенсация помех в судовых радиотехнических системах. - Л.: Судостроение, 1989.

Поступила 11 декабря 2006 г.