

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЕНСАЦИИ ПОМЕХ ЧАСТИЧНО АДАПТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ НА ОСНОВЕ RLS- И LMS-АЛГОРИТМОВ

Семибаламут К. М.<sup>1</sup>; Титарчук С. А.<sup>2</sup>, Жук С. Я.<sup>2</sup>, д.т.н., профессор,

<sup>1</sup> Военно-дипломатическая академия имени Е. Березняка, г. Киев, Украина

<sup>2</sup> Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Важное практическое значение имеют частично адаптивные цифровые антенные решётки (ЦАР) [1], в которых для адаптации используются приемные элементы решетки, объединенные в группы по  $\Delta$  элементов. На рис. 1 представлена структурная схема цифрового автокомпенсатора помех (АКП) на основе  $N$ -канальной линейной частично адаптивной ЦАР. АКП выполняет параллельное весовое когерентное суммирование объединенных в  $M$  групп сигналов ЦАР с целью формирования компенсационной диаграммы направленности (ДН), которая определяется по формуле

$$A_k(\theta) = A_g(\theta) \sum_{i=1}^M W_i \exp\{j\pi \sin \theta(i-1)\Delta\},$$

где  $A_g(\theta)$  – ДН модуля, включающего  $\Delta$  приемных элементов

$$A_g(\theta) = \sum_{l=1}^{\Delta} \exp\{j\pi \sin \theta(l-1)\}.$$

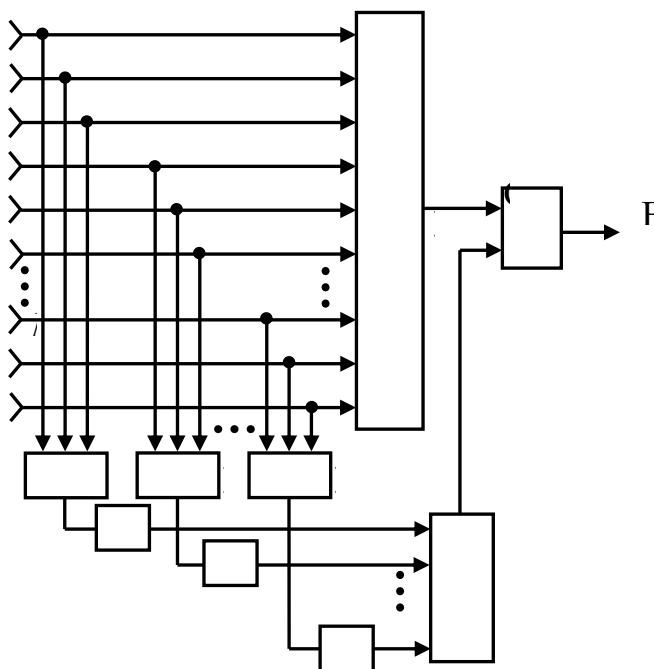


Рисунок 1. Структурная схема цифрового АКП на основе линейной частично адаптивной ЦАР

В дальнейшем компенсационный сигнал вычитается из сигнала основного канала, в котором формируется требуемая ДН.

На рис. 2 показана ДН основного канала при  $N=80$  (кривая 1), а также ДН модуля (кривая 2), включающего  $\Delta=4$  приемных элементов.

Синтез АКП, который заключается в определении весовых коэффициентов  $W_i, i = \overline{1, M}$ , выполнен с использованием RLS- и LMS-алгоритмов [2]. На рис.3

представлены результаты моделирования АКП при воздействии трех постановщиков активных шумовых помех с равными мощностями и суммарной относительной мощностью равной 600, которые расположены в первом и втором боковых лепестках. Корреляционная матрица (КМ) объединенных в группы сигналов характеризуется плохой обусловленностью равной 10 дБ.

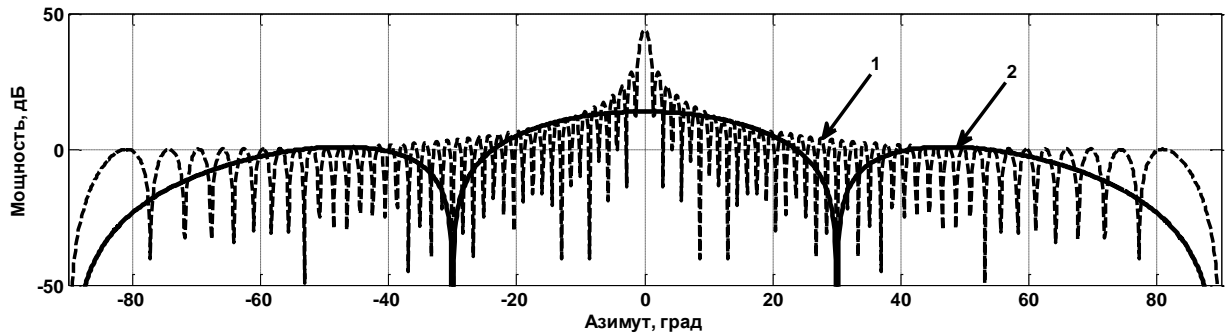


Рисунок 2. ДН основного канала при  $N=80$  и модуля, включающего  $\Delta=4$  приемных элементов

На рис. 3,а представлены зависимости мощности помех на выходе АКП от числа итераций при использовании LMS- (кривая 1) и RLS- (кривая 2) алгоритмов, а также минимальное значение мощности помех при использовании фильтра Винера (кривая 3).

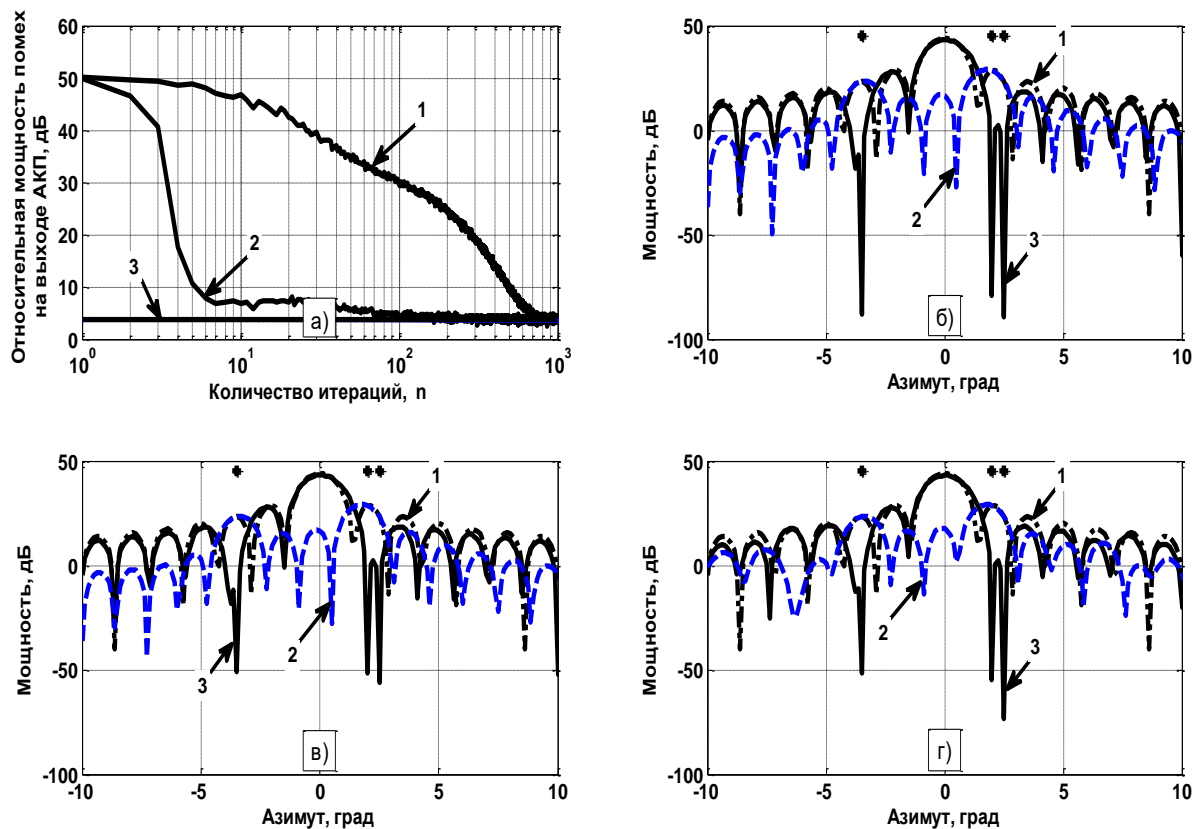


Рисунок 3. Результаты моделирования цифрового АКП на основе линейной частично адаптивной ЦАР:  $N=80$ ,  $\Delta=4$

На рис. 3,б показаны ДН основного канала (кривая 1), компенсационного канала (кривая 2) и результирующая ДН (кривая 3), полученные на основе оптимальной винеровской фильтрации. Однако данный алгоритм он не является адаптивным и требует априорных данных о КМ помеховых сигналов. На рис. 3,в показаны аналогичные ДН, полученные при использовании LMS- и RLS- алгоритмов соответственно.

Как следует из проведенного анализа, LMS- и RLS- алгоритмы сходятся к потенциально достижимому значению, которое обеспечивается фильтром Винера. При этом, скорость сходимости АКП с использованием LMS-алгоритма ниже, чем на основе RLS- алгоритма примерно в 8 раз.

Точность установки нулей ДН и форма зон режекции для всех случаев практически одинаковые. Глубина зоны режекции двух близко расположенных источников помех для АКП на основе RLS-алгоритма более глубокая, чем у АКП на основе LMS- алгоритма. Воздействие помех незначительно искажает форму главного лепестка ДН ЦАР.

#### **Перечень источников**

1. Кузьмин С. З. Цифровая радиолокация / С. З. Кузьмин. – К. : Изд-во КВиЦ, 2000 – 428 с.
2. Monzingo, Robert A. Introduction to adaptive arrays / Robert A. Monzingo, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. -2nd ed. Scitech publishing, inc. 2011. – 510 p.

#### **Анотація**

Виконано аналіз швидкості збігу та ефективності компенсації завад частково адаптивною цифровою антенною решіткою на основі RLS- і LMS-алгоритмів для випадків поганої обумовленості кореляційної матриці об'єднаних у групи завадових сигналів. Проведено порівняння з потенційно досяжними характеристиками, які забезпечуються алгоритмом вінеровської фільтрації.

**Ключові слова:** Діаграма направленості, частково адаптивна цифрова антенна решітка, автокомпенсатор завад, RLS- і LMS-алгоритми.

#### **Аннотация**

Выполнен анализ скорости сходимости и эффективности компенсации помех частично адаптивной цифровой антенной решеткой на основе RLS- и LMS-алгоритмов при плохой обусловленности корреляционной матрицы объединенных в группы помеховых сигналов. Проведено сравнение с потенциально достижимыми характеристиками на основе алгоритма винеровской фильтрации.

**Ключевые слова:** Диаграмма направленности, частично адаптивная цифровая антенная решётка, автокомпенсатор помех, RLS- и LMS-алгоритмы.

#### **Abstract**

The analysis of the rate of convergence and effectiveness of the noise compensation partially adaptive digital antenna array on the basis of the RLS- and LMS- algorithms is made. The analysis is made for a case of bad conditionality of a correlation matrix of interfering signals, united in groups. Comparison with potentially achievable characteristics which are provided with algorithm of a Wiener filtration is carried out.

**Keywords:** Radiation pattern, partway multi-element antenna array adaptive, automatic compensator interference, RLS- and LMS- algorithms.