

АНАЛИЗАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Колотушкин Роберт Иванович,
МТУСИ, Москва, Россия,
rob-kol167mtusi@yandex.ru

Ключевые слова: анализатор электромагнитного поля, антенные системы, системы радиомониторинга.

Приведены описание и результаты предварительного моделирования анализатора электромагнитного поля на основе адаптивной линейной антенной решетки, в которой, за счет формирования в ней с $2 \cdot N$ аргументами синусных и косинусных пространственными диаграммами направленности, производится вычисление коэффициентов ряда Фурье действующего на антенну в передней полусфере электромагнитного фронта и формируется результирующая диаграмма направленности сопряженная с этим фронтом. Это приводит, первое, к улучшению приема сигналов находящихся в этой сфере некогерентных источников радиосигналов и, второе, при воспроизведении сформированной в анализаторе диаграммы создается возможность определения направлений на них.

Определение направлений (пеленгов) на действующие в наблюдаемом поле источники производится запоминанием сформированных в ней коэффициентов и построением сформировавшейся в решетке диаграммы направленности с помощью внешнего генератора, либо по тем же коэффициентам алгоритмически. Принцип работы пространственного анализатора может быть также использован для анализа и поиска источников сигналов в частотной области на основе замены антенн линией задержки с отводами. Области применения рассматриваемой антенной системы является телекоммуникационные системы подвижной связи для следающего приема сигналов отдельных абонентов или их групп, а также радиоразведка, радиопротиводействие, системы радиомониторинга.

Информация об авторе:

Колотушкин Роберт Иванович, доцент кафедры СиСРТ МТУСИ, к.т.н., с.н.с., Москва, Россия

Для цитирования:

Колотушкин Р.И. Анализатор электромагнитного поля // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №12. С. 26-30.

For citation:

Kolotushkin R.I. (2017). Electromagnetic field analyzer. *T-Comm*, vol. 11, no.12, pp. 26-30. (in Russian)

Принцип работы устройства рассмотрим на примере семиэлементной линейной антенной решетки, функциональная схема которой приведена на рис. 1. Линейка содержит нечетное количество антенных элементов. Центральный элемент А4, в цепь которого включен усилитель без искажения фазы сигнала, является опорным и определяет сектор однозначного обзора, который может составлять в анализируемой плоскости до 180 градусов. К выходам антенных элементов подключены каналы так называемого квадратурного автокомпенсатора [1]. В рассматриваемом случае квадратурные каналы преобразованы в суммарные и разностные каналы выходных сигналов боковых антенн линейной антенной решетки, за счет чего в решетке формируются в пространстве каналы приема с синусными и косинусными диаграммами направленности. Это позволяет с помощью вычисляемых коэффициентов ряда Фурье воспроизвести действующее на центральный антенный элемент линию электромагнитного поля, что и требовалось.

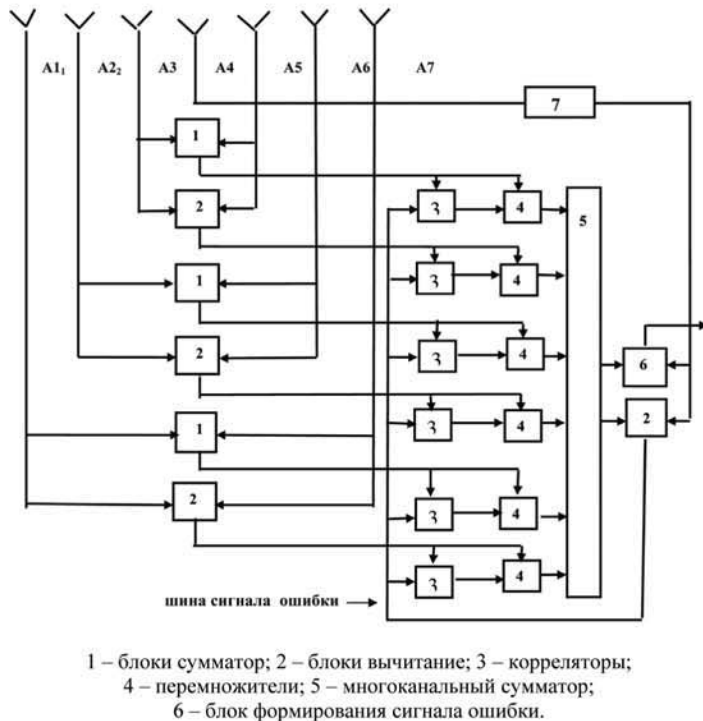


Рис. 1. Блок-схема рассматриваемого пространственного анализатора

Отклик Y на выходе элемента 1 схемы описывается выражением:

$$Y = S_0 - q[\sum (S-i + S+i) V_i + \sum (S-i - S+i) W_i], \quad (1)$$

где Y – сигнал ошибки на выходе блок 6 схемы, S_i – независимые сигналы на выходах антенных элементов, V_i и W_i – коэффициенты Фурье на выходах корреляторов 4 схемы, обеспечивающие отклик системы по минимуму среднего квадрата ошибки. При умножении отклика 1 отдельно на сумму и разность выходных сигналов каналов приема и усреднения полученных произведений по множеству с учетом ортогональности сумм и разностей откликов боковых антенн решетки можно получить формулы для вычислений откли-

ков на выходах корреляторов схемы:

$$V_i = S_0 \cdot (S-i + S+i) / (1 + q(S-i + S+i)^2)$$

$$W_i = S_0 \cdot (S-i - S+i) / (1 + q(S-i - S+i)^2) \quad (2)$$

Оптимальность процедуры формирования огибающей фронта с точки зрения разрешения в наблюдаемом поле источников сигналов при заданном количестве пар антенн обеспечивается компенсацией сигналов на общем входе [2, 3] и минимальным свойством коэффициентов ряда Фурье.

Результаты предварительного моделирования устройства представлены на графиках (рис. 2-5) и в табл. 1. В модели использовалась линейная антенная решетка с 29 ненаправленными антенными элементами. Центральный 15-ый антенный элемент решетки с установленным на его выходе неискажающим фазу усилителем с коэффициентом усиления A (не принципиально до полу суммы общего количества элементов) является опорным. Выходы остальных антенных элементов попарно объединены формируя в плоскости решетки 14 синусных и 14 косинусных (за счет суммирования и вычитания их выходных сигналов) пространственных диаграмм направленности. В передней полусфере антенной решетки действовало до пяти источников некогерентных источников сигналов с заданными значениями пеленгов пространстве. Значения сдвигов фаз принимаемых сигналов определялось формулой [4]:

$$\psi_i = 2\pi d / \lambda \cdot \sin(\theta_i) \quad (3)$$

где θ_i пеленги источников. Остальное все в соответствии с рис. 1.

На рисунке 2 приведены фрагменты сформированной устройством и восстановленные по запомненным на выходах корреляторов данным диаграммы в направлении на один источник сигнала (data 3). На графиках здесь и в дальнейшем в каждом делении 3 градуса. Пеленгуемый источник находится в середине зоны пеленгации на направлении 90° к линии решетки (data1).

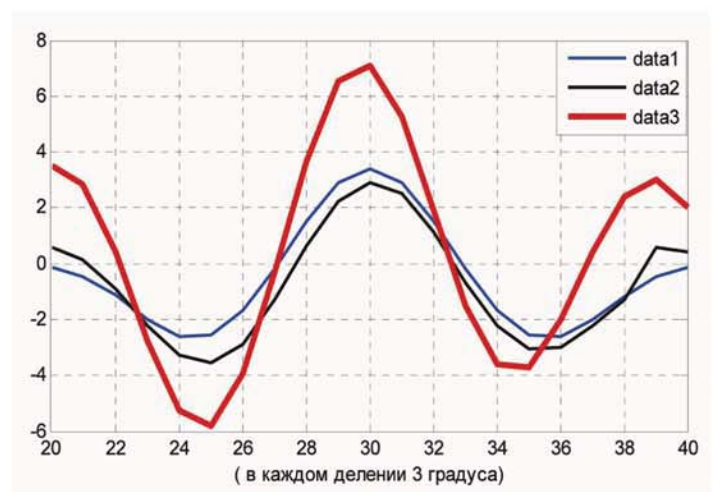


Рис. 2. Форма диаграммы на один источник сигнала (здесь и далее в каждом делении 3 градуса)

Ширина сформированной диаграммы направленности порядка семи градусов, уровень первых боковых лепестков - 10 дБ. При шуме - 6 дБ на выходе каждого антенного элемента по отношению к мощности сигналов уровень в максимуме сформированной диаграмме незначительно подсаживается (data2). При включении еще четырех разнесенных в пространстве источников такого же уровня за счет повышения усиления в цепи обратной связи устройства вид диаграмм улучшается (data3). При этом отношение сигнал - шум определяется отношением когерентно суммированной мощностью все действующих сигналов к шуму.

Для оценки пеленгов действующих на антенну источников в построенной модели на рис. 3 приведена сформированная по запомненным в результате самофокусировки коэффициентам (2) и внешним генератором огибающая электромагнитного фронта создаваемая 5-тью источникам в рабочей зоне от 0 до 60 делений (от 0 до 180 градусов - зона однозначного определения фазы) и прилегающих к этой зоне частей зон с зеркальным отображением сформированного фронта - слева от -10 до 0 делений и от 60 до 80 делений справа. Сигналы имеют одинаковые несущие модулированные для обеспечения некогерентности по фазе +1/-1 независимыми ПСП. Исходные установки пеленгов сигналов 5, 16, 27, 38, 49 делений (15, 48, 81, 114, 147 градусов). Огибающая линии пеленгов data1 построена при отсутствии шума. Огибающая data2 построена при наличии независимых в каждом канале приема шумов -3 дБ по отношению к сигналу.

При визуальной оценки максимумов огибающих зафиксированного поля наиболее точные оценки измерения пеленгов реализуются в секторе от 15 до 45 делений (в плоскости 90 градусов по отношению к линейки антенных элементов). Максимумы построенной линии совпадают с направлениями на источники с некоторым смещением. Полученные смещения оценок по направлению к середине относительно заданных объясняются нелинейностью фазовых характеристик системы, что характерно при фазовых измерениях на краях зоны [5].

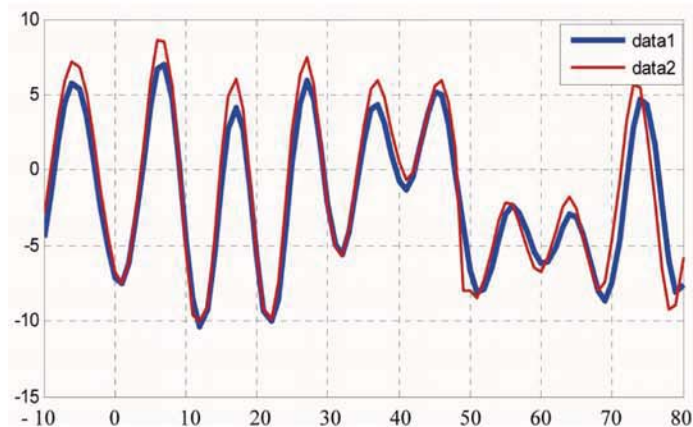


Рис. 3. Отклик системы на сигналы 5-ти источников с исходными пеленгами 5, 16, 27, 38, 49 делений

Диаграмма пеленгов при наличии шума -6 дБ показана линией data1. Наличие шума (data2) увеличивает разброс откликов по амплитуде, но не приводит практически к смещению максимумов диаграммы, по которым производится оценка направлений на источники. Детальный анализ полу-

ченных пеленгов при наличии шума, по которым строились графики, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Заданные пеленги	Оценки пеленгов	Смещения
5 (15°)	6 (18°)	3°
16 (48°)	16,8 (50,4°)	2,4°
27 (81°)	26,5 (80,7°)	0,5°
38 (114°)	36,3 (108,9°)	-3,3°
49 (147°)	47,5 (142,5°)	-7,5°

Поскольку эти смещения пеленгов имеют регулярный характер, то систематические ошибки при измерении пеленгов могут быть учтены. Оценки пеленгов сохраняются вплоть до отношений сигнал-шум 3 дБ. Отметим одну особенность при формировании диаграмм пеленгов - их максимумы являются сглаженными оценками отношений амплитуд сигналов в основном канале к амплитудам коррелированных с ними сигналов в каналах боковых антенн (2). Поэтому отклики системы являются нормированными и информация о истинных значениях мощности сигналов отсутствует.

Проведено моделирование работы решетки при различных взаимных расположениях источников в пределах принятых в большинстве сотовых систем стандартных рабочих секторов 120 градусов. В воспроизводимых при этом диаграммах фиксировалось наличие провалов на действующих в них источники или наоборот подъёмы. Например, на рис. 4 провал в диаграмме на источник с пеленгом 35 делений (105°) и подъём ДНА на источник 25 делений (75°) являются результатом недостатка разрешения и наложением самих диаграмм, а не их источников. Сигналы не когерентны и они не могут взаимно компенсироваться при их сложении. Искажения в данном случае возникли при воспроизведении диаграммы. Это подтверждено и моделированием.

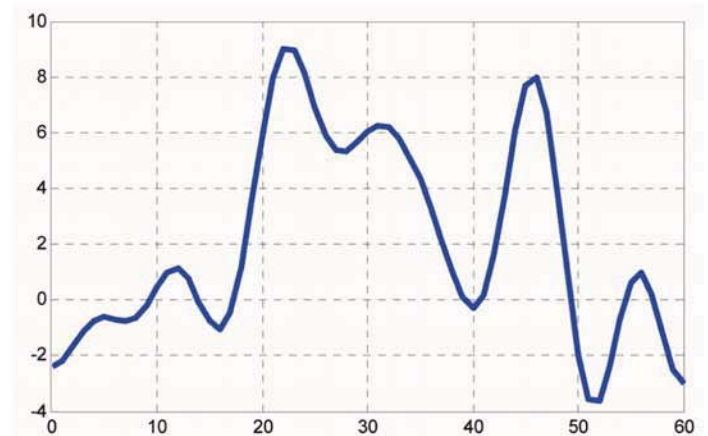


Рис. 4. Диаграмма направленности при сравнительно плотном - 60, 75, 30, 105 и 125 градусах расположения источников излучения

Естественно, при реализации рассматриваемого в данной работе способа применительно к формированию парциальных диаграмм базовых станций сотовой связи, возникает вопрос о требуемом количестве антенн в решетке для перекрытия диаграммой часто используемого рабочего сектора

120°. Рисунок 5 иллюстрирует возможности перекрытия абонентского доступа в секторе 120° антенной решеткой с 14 и 4 парами антенн. Диаграммы построены без учета исходной направленности антенных элементов.

При выборе количества пар антенн необходимо учитывать статистики распределения пользователей в прилегающих к базе секторах.

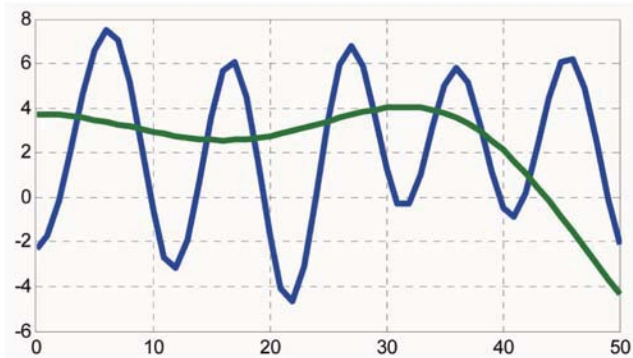


Рис. 5. Формы диаграмм направленности при самофокусировки на 5 источников в секторе 120° системы сотовой связи 14-ю и 4 парами боковых антенн

Моделирование показало возможность использование анализатора для анализа электромагнитного поля, а также для пространственного и частотного поиска источников сигналов. Использование анализатора в системах подвижной связи, в частности в сотовой связи, будет способствовать сокращению времени вхождения в связь за счет формирования диаграмм на отдельные источники или их группы, что будет способствовать повышению энергетического потенциала линий связи на прием. При этом нет необходимости воспроизведения диаграмм, используется только одна операция – самофокусировка в течении миллисекунд и в дальнейшем обеспечивается автоматическое сопровождение абонентских терминалов при их перемещении. Полученные, пусть даже грубые, оценки распределения абонентов в секторе могут быть использованы для управления передающими антеннами сотовых станций, что принесет большой экономический эффект. Разработка такого сценария управления антеннами базовых станций с учетом уже действующего метода регулировки излучением абонентских станций по обратному каналу связи является отдельной задачей. Не ме-

нее интересным использование рассматриваемого антенной системы для многосигнальной пеленгации в радиоразведке, радиопротиводействии и в системах мониторинга радио спектра [6].

Рассматриваемый в данной работе анализатор является беспороговым обнаружителем. Факт приема анализатором сигналов источников радиоизлучений определяется сравнением выходных уровней блоков вычитания 1 и блока суммирования 6. Для определения пеленгов источников излучения необходимо воспроизведение сформированной диаграммы. В этом смысле процесс анализа в решетке близок к фотографированию – сначала производится фокусировка (самофокусировка), затем восстанавливается изображение сформированных лучей в направлениях действующих на анализатор источников. В перспективе, при использовании нескольких разнесенных в пространстве подобных систем с общим блоками памяти и идентификации, то это уже будет объемное радиовидение (радиозрение) [7] с теми возможностями, которые может дать выбранный диапазон волн.

Литература

1. Ширман Я. Д., Красногоров С.И. Квадратурный автокомпенсатор помех. Авторское свидетельство СССР, №296267 от 27.01.1962.
2. Колотушкин Р.И. Разрешение сигналов с использованием нестационарных фильтров. Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ. Выпуск 12, 1982. С. 26-35.
3. Колотушкин Р.И., Шандренко А.А. Разрешение сигналов на основе разложения откликов многоканального приемника в обобщенный ряд Фурье. Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ. Выпуск 11, 1984. С. 26-35, 158-160.
4. Монзиго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. М.: РиЭ, 1986.
5. Березин Л.В., Вейцель В.Ф. Теория и проектирование радиосистем. М.: Сов. Радио, 1987.
6. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Негребов В.В., Пастернак Ю., Рембовский А.А. Анализ перспективных направлений развития методов оценки угловых координат источников излучения. Сайт «Leninka».
7. Колотушкин Р.И. Радиовидение – анализ электромагнитного фронта волны радиочастотного диапазона / Доклад на XI Международной отраслевой НТК «Технологии информационного общества» март 2017.

ELECTROMAGNETIC FILD ANALYZER

Robert I. Kolotushkin, MTUCI, Moscow, Russia, rob-kol167mtusi@yandex.ru

Abstract

The simulation results of the electromagnetic field analyzer based on adaptive linear antenna array, in which due to the formation in it 2*N sine and cosine spatial directional diagram calculation of the coefficients of the Fourier series of the current on the antenna in the forward hemisphere of the electromagnetic front, and the formation of the resulting diagram associated with this front. This leads to improved signal reception in this area sources of radio signals and creates opportunities identify them. The play formed in the lattice of the resulting charts to be produced remembering the generated coefficients and an Autonomous generator or by the same factors algorithmically. The principle of operation of feature analyzer may also be used for analysis and search of sources of signals in the frequency domain based on the replacement of the antenna with a delay line with taps.

Keywords: electromagnetic field analyzer, antenna system, telecommunication systems.

References

1. Shirman Ya. D., Krasnogorov S.I. (1962). Quadrature auto-compensator interference. Author's certificate of the USSR, No. 296267 of 27.01.
2. Kolotushkin R.I. (1982). Resolution of signals using non-stationary filters. *Questions of radio electronics. Series OT. Issue 12*, pp. 26-35.
3. Kolotushkin R.I., Shandrenko A.A. (1984). Resolution of signals based on the decomposition of the responses of a multichannel receiver into a generalized Fourier series. *Questions of radio electronics. Series OT. Issue 11*, pp. 26-35, 158-160.
4. Monzigo R.A., Miller T.U. (1986). Adaptive antenna arrays. Moscow.
5. Berezin L.V., Veitsel' V.F. (1987). *Theory and design of radio systems*. Moscow: Sov. Radio.
6. Ashikhmin A.V., Koz'min V.A., Negrebov V.V., Pasternak Yu., Rembovsky A.A. Analysis of perspective directions in the development of methods for estimating the angular coordinates of radiation sources. "eLeninka".
7. Kolotushkin R.I. (2017). Radio broadcasting – analysis of the electromagnetic wavefront of the radio frequency band. *Report on the XI International Informatics Industry ITC "Technology of the Information Society"* March 2017.

Главное событие
отрасли
информационной безопасности

1-2
февраля
2018
Здание
Правительства
Москвы

БОЛЬШОЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ФОРУМ
ИНФОРМУМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ