

ISSN 0320-9601

Антенны

Antennas

**Выпуск 9 (208)
2014**

В номере:

Селекция поверхностных радиоволн
при многопозиционном пеленговании

Низкопрофильная развязанная
антенная система на основе поверхности
с высоким импедансом

и др.



тел./факс: (495) 625-9241
e-mail: info@radiotec.ru
<http://www.radiotec.ru>

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 48135 В КАТАЛОГЕ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»: ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ

Антенны

*Antennas***Выпуск 9 (208)
2014****Главный редактор – д.т.н., проф. А.П. Курочкин****РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Л.П. Андрианова; д.т.н., проф. В.Б. Авдеев; д.т.н., проф. В.С. Верба; д.т.н., проф. А.Д. Виноградов (зам. гл. редактора); д.т.н., проф. Д.И. Воскресенский; акад. РАН Ю.В. Гуляев; д.т.н., проф. Ф.Ф. Дубровка (Украина); д.т.н., проф. Д.Ф. Зайцев; д.т.н., проф. В.А. Каплун; д.т.н., проф. А.И. Козлов; д.т.н., проф. В.А. Кашин; д.ф.-м.н., проф. О.С. Литвинов; к.ф.-м.н. В.Ф. Лось (1-й зам. гл. редактора); д.т.н., проф. В.П. Мещанов; д.т.н., проф. В.Н. Митрохин; д.т.н., проф. В.А. Обуховец (зам. гл. редактора); д.т.н., проф. О.Ю. Перфилов; д.т.н., проф. С.Б. Раевский; д.т.н., проф. В.А. Сарычев; к.т.н. А.В. Шишлов; д.т.н., проф. Я.С. Шифрин (Украина); д.т.н. К.С. Щеглов; д.т.н., проф. В.В. Чебышев; Ph.D. (Eng.) A.O. Boryssenko (США); проф. Kees van't Klooster (Нидерланды)

Editor-in-Chief – Dr.Sc. (Eng.), Prof. A.P. Kurochkin**EDITORIAL BOARD:**

L.P. Andrianova; Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.B. Avdeev; Ph.D. (Eng.) A.O. Boryssenko (USA); Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.V. Chebyshev; Dr.Sc. (Eng.), Prof. F.F. Dubrovka (Ukraine); Academician RAS Yu.V. Gulyaev; Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.A. Kaplun; Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.A. Kashin; Prof. Kees van't Klooster (The Netherlands); Dr.Sc. (Eng.), Prof. A.I. Kozlov; Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. O.S. Litvinov; Ph.D. (Phys.-Math.) V.F. Los' (First Deputy Editor); Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.P. Meshchanov; Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.N. Mitrokhin; Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.A. Obukhovets (Deputy Editor); Dr.Sc. (Eng.), Prof. O.Yu. Perfilov; Dr.Sc. (Eng.), Prof. S.B. Raevskii; Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.A. Sarychev; Dr.Sc. (Eng.) K.S. Shcheglov; Dr.Sc. (Eng.), Prof. Ya.S. Shifrin (Ukraine); Ph.D. (Eng.) A.V. Shishlov; Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.S. Verba; Dr.Sc. (Eng.), Prof. A.D. Vinogradov (Deputy Editor); Dr.Sc. (Eng.), Prof. D.I. Voskresenskii; Dr.Sc. (Eng.), Prof. D.F. Zaitsev

Содержание

СИНТЕЗ АНТЕНН

Низкопрофильная развязанная антенная система на основе поверхности с высоким импедансом.

Гринев А. Ю., Курочкин А. П., Волков А. П.

4**АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ**

Моделирование планарных щелевых антенных решеток конечных размеров и экспериментальное исследование их характеристик.

Бирюков В. В., Грачев В. А., Раевский А. С., Щербаков В. В.

12

Экспериментальное исследование фазированной антенной решётки из четырёх заузленных антенн в форме пятнадцатилистников.

Смелов М. В.

18

Эвристический синтез диаграммы направленности луча ПБЛ.

Ратынский М. В., Николаев А. П., Петров С. В., Кирьямасов А. К.

26

УДК 621.396.67

Экспериментальное исследование фазированной антенной решётки из четырёх заузленных антенн в форме пятнадцатилистников

© Авторы, 2014

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2014

М. В. Смелов – к.т.н., вед. науч. сотрудник, ОАО «Корпорация «Комета»

E-mail: smelovsoliton@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования фазированной антенной решётки, состоящей из четырёх элементов, выполненных в виде проволочных заузленных антенн в форме пятнадцатилистников.

Ключевые слова: вихревая электродинамика, тороидальные антенны, спиральные антенны.

The results of a pilot study of the phased antenna array consisting of four elements, designed in the form of wire knotted antennas in the form of fifteen-leaves are described.

Keywords: vortex electrodynamics, toroidal antennas, helical antennas.

В статье описываются результаты экспериментального исследования фазированной антенной решётки (ФАР), состоящей из четырёх элементов, выполненных в виде проволочных заузленных антенн в форме пятнадцатилистников. Внешний вид этого элемента ФАР показан на рис. 1, 2.

Эксперименты с передающими и приёмными антеннами в форме трилистника и пятилистника описаны в [3]. Заузленная пятнадцатилистниковая антенна имеет аномально низкое затухание при увеличении дистанции связи: темп затухания сигнала не превышает 1,5 дБ/октаву (октава – возрастание в два раза дистанции связи), в то время как классические антенны имеют темп затухания 6 дБ/октаву.

На рис. 1 показан вид этой антенны спереди, причём направление намотки спирали пятнадцатилистника левое.

На рис. 2 показан вид этой антенны сбоку, причём на оси торовой обмотки виден процесс образования узла заплетённых петель медной проволоки без самопересечений на торе. Длина одной петли равна длине электромагнитной волны $\lambda \approx 12$ см на центральной частоте (примерно 2,3 ГГц) полосы рабочих частот антенны.

На рис. 2 видно, что экваториальная плоскость торовой обмотки антенны находится в первом максимуме полуволны возбуждающего штыревого вибратора, длина которого равна длине электромагнитной волны на рабочей частоте антенны, примерно равной 2,3 ГГц. Антенна на своём возбуждающем конце справа на рисунке согласована по симметрии поля и по сопротивлению излучения ~ 120 Ом на этой частоте с несимметричным коак-

сиальным 50-омным кабелем U-коленом вблизи второго максимума вибратора, что подбирается при настройке антенны по минимуму КСВн. Излучающий конец антенны длиной примерно в $1/4\lambda = 3$ см направляет, концентрирует и стабилизирует продольную компоненту излученной электромагнитной волны.

На базе этого элемента собраны ФАР из двух элементов и четырёх элементов, конструкции которых показаны на фото на рис. 3.

Элементы ФАР расставлены примерно в максимумах стоячей волны вдоль возбуждающего вибратора примерно через половину рабочей длины волны (рабочей частоты) ФАР. Возбуждение вибратора осуществляется в крайнем максимуме стоячей волны. Длина возбуждающего вибратора

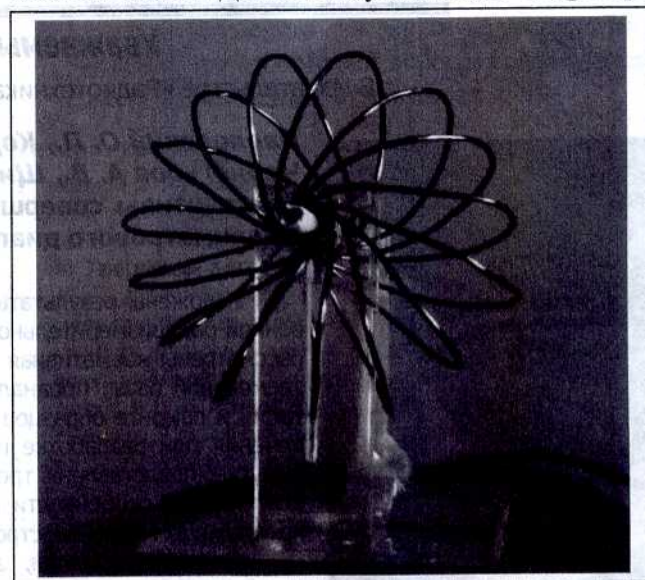


Рис. 1. Фото элемента ФАР в виде пятнадцатилистниковой заузленной антенны (вид спереди)

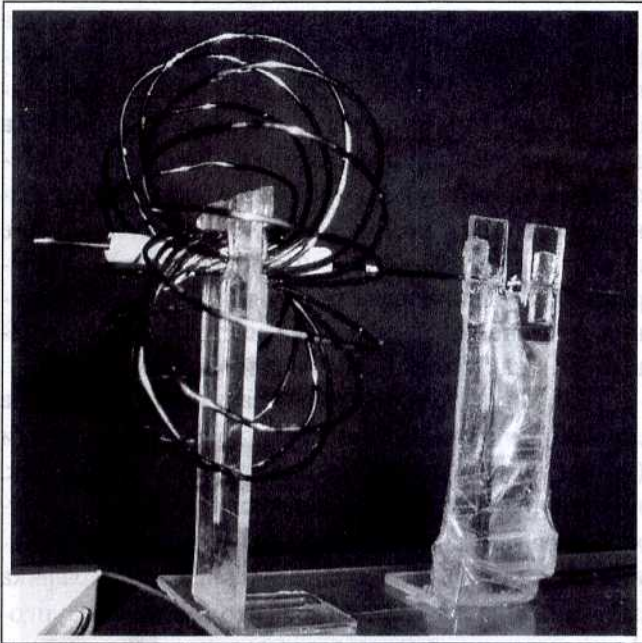


Рис. 2. Фото элемента ФАР в виде пятнадцатилистниковой заузленной антенны (вид сбоку)

$2,5\lambda = 18$ см. Точное положение элементов на вибраторе подбирается при настройке в рабочей полосе частот ФАР по минимуму КСВн.

В данной статье описываются результаты исследования только четырехэлементной ФАР как наилучшей по своим качествам.

Измерения проводились в составной много-слойной безэховой камере (БЭК): большая БЭК и мини БЭК внутри большой БЭК. Составная безэховая камера, состоящая в сумме из пяти слоёв радиопоглотителя типа «Мох» и «Терновник», имела подавление отражений ≥ 100 дБ по попе-

речной компоненте излученной электромагнитной волны. Дистанция связи внутри мини БЭК длиной 2,5 м изменялась в интервале $2L \dots 15L$, где $L = \lambda = 12$ см, диапазон сканирования по частоте 2,2 ГГц ... 2,6 ГГц.

Для измерения затухания и КСВн использовался векторный анализатор цепей E 8362B (Agilent Technologies).

Схема измерительного стенда приведена на рис. 4, где цифрами 1 и 2 отмечены передающая ФАР и приёмная ФАР соответственно, которые устанавливаются в волновой зоне Фраунгофера на расстоянии не менее одной длины волны.

Размещение передающей ФАР и приёмной ФАР из четырех элементов в виде пятнадцатилистников во внутренней мини БЭК с открытой крышкой показано на фото на рис. 5. Внешняя БЭК не показана.

На рис. 5 видны пирамидки радиопоглощающего материала типа «Мох» и диэлектрические направляющие, по которым соосно перемещаются ФАР. Здесь показано размещение ФАР на дистанции связи $2\lambda = 24$ см между излучающими концами медной проволоки центрального возбуждающего вибратора ФАР.

Типичные графики спектрограмм приведены на рис. 6–11. Важно отметить, что калибровка проводится при нулевой дистанции связи, когда излучающие концы передающей и приёмной ФАР соединяются. Поэтому учитываются все потери: потери в длинном кабеле, равные 15 дБ, потери на неполное согласование ФАР с кабелем и вакуумом, потери на излучение некомпенсированной



Рис. 3. Фото конструкций двухэлементной (слева) и четырехэлементной (справа) ФАР с элементами в виде пятнадцатилистников



Рис. 4. Схема измерительного стенда

поперечной и анапольной компоненты электромагнитной волны порядка 15 дБ и другие, которые ещё предстоит уменьшить при последующих применениях ФАР.

На графике рис. 6 и последующих рисунках по ординате отмечено затухание, дБВт. Изрезанность калибровочной кривой (линия А) обусловлена интерференцией гармоник замедляющей системы, которой является по сути осевая ФАР. Сканирующая частота отмечена по оси абсцисс от 2,2 ГГц до 2,6 ГГц. График, помеченный линией Б, соответствует изменению КСВн на входе передающей ФАР (аналогичный — для приёмной ФАР).

На рис. 7 показан график затухания сигнала на дистанции связи 2λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б). График, помеченный линией Г, перенесён с графика затухания на дистанции связи 4λ (изменения расстояния на октаву). Из сравнения значений графика затуханий на 2λ и 4λ видно, что в ближней зоне и в промежуточной зоне Френеля затухание возрастает с увеличением расстояния и темп затухания не менее 6 дБ/октава на частоте 2,3164 (маркер «5»), как у всех классических антенн.

На рис. 8 показан график затухания сигнала на дистанции связи 4λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б). График, помеченный линией Г, перенесён с графика затухания на дистанции связи 8λ (изменения расстояния на октаву). Из сравнения значений графика затуханий на 4λ и 8λ видно, что в зоне Фраунгофера затухание начинает медленнее возрастать с увеличением расстояния и темп затухания равен 2 дБ/октава на частоте 2,3164 (маркер «5»), при этом у всех классических антенн темп затухания по-прежнему равен 6 дБ/октава.

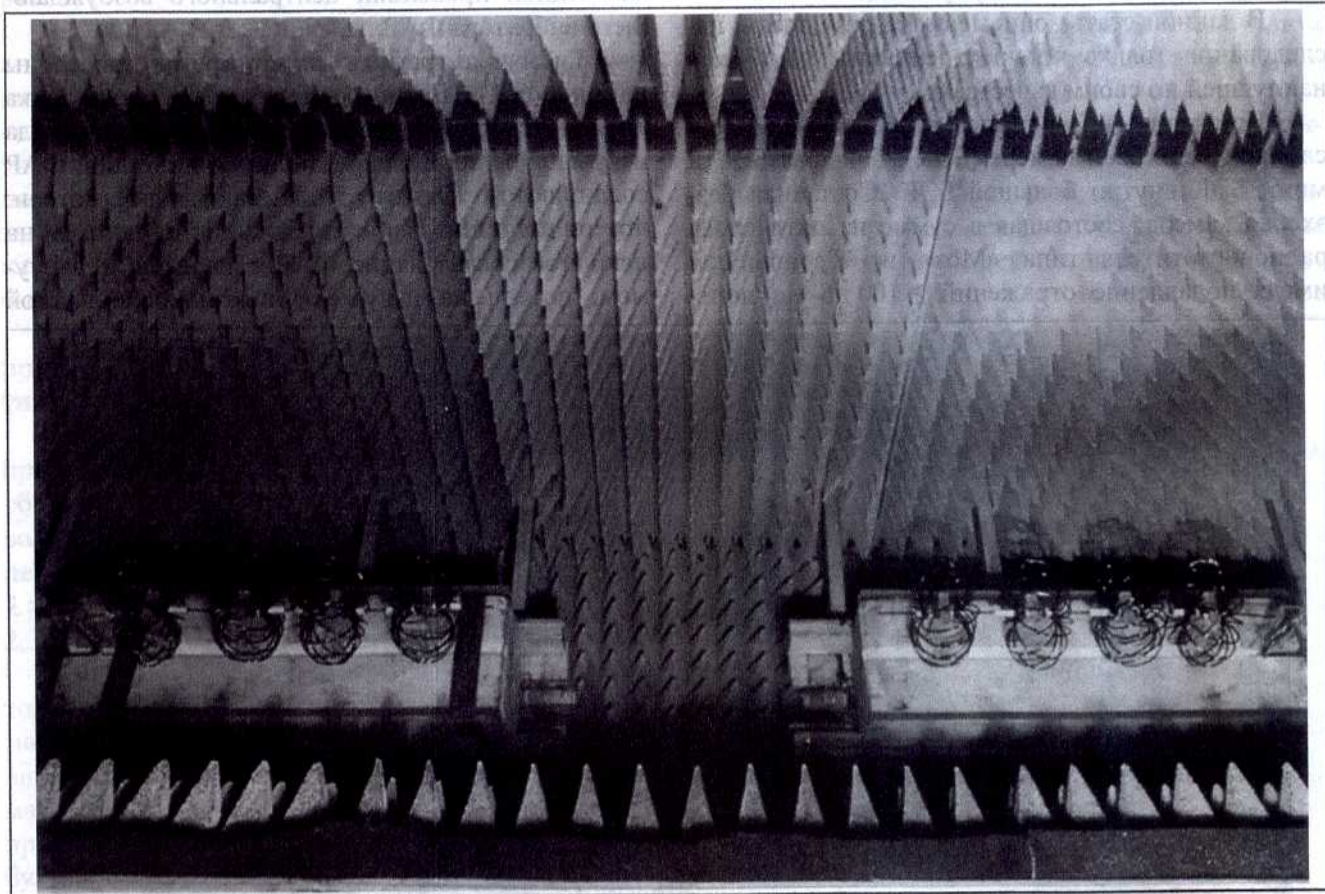


Рис. 5. Фото размещения передающей ФАР и приемной ФАР из четырех элементов в виде пятнадцатилистников во внутренней мини БЭК с открытой крышкой

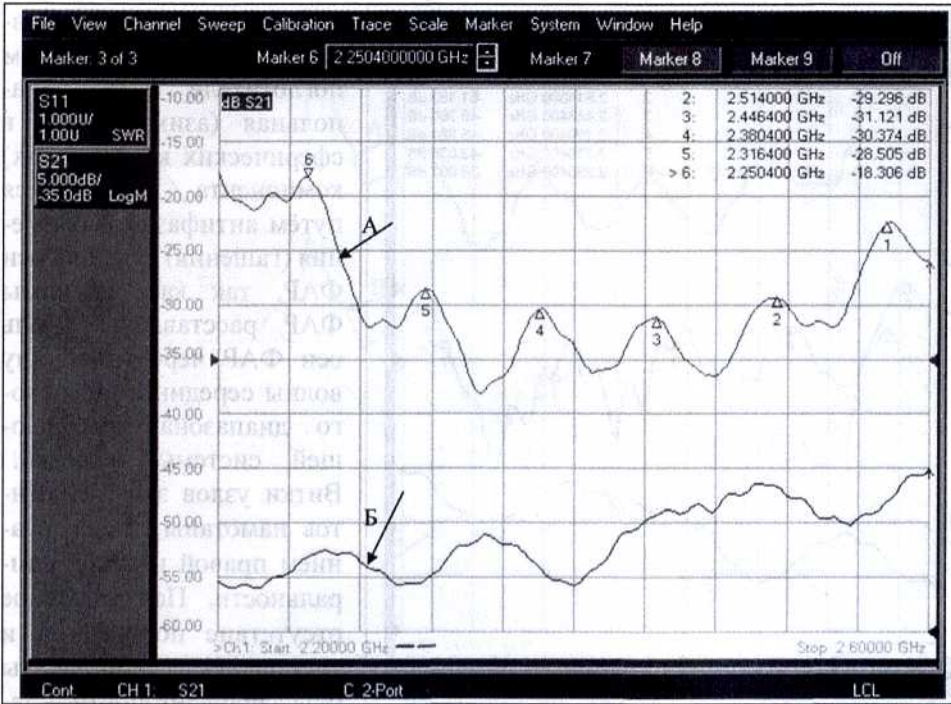


Рис. 6. График калибровки (линия А) и график КСВн ФАР (линия Б) (дистанция связи равна нулю)

На рис. 9 показан график затухания сигнала на дистанции связи 6λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б). График, помеченный линией Г, перенесён с графика затухания на дистанции связи 12λ (изменения расстояния на октаву). Из сравнения значений графика затуханий на 6λ и 12λ видно, что в начале волновой зоны затухание не возрастает, а, наоборот, уменьшается, т.е. наблюдается усиление по коэффициенту направленного действия антенны с увеличением расстояния и этот темп усиления равен 1 дБ/октава на частоте 2,3164 (маркер «5»), в то время как у всех классических антенн темп затухания по-прежнему остается 6 дБ/октава.

На рис. 10 показан график затухания сигнала на дистанции связи 12λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б). Графика, помеченного ли-

нией Г, на дистанции связи $24\lambda = 2,88$ м нет, так как размер мини БЭК ($2,5$ м) не позволил провести измерения. Однако из значений графиков затуханий при $8\lambda \dots 12\lambda$ видно, что в дальней зоне затухание не изменяется в пределах погрешности аппаратуры с увеличением расстояния, поэтому темп затухания ~ 0 дБ/октава на частоте 2,3164 (маркер «5»), но у всех классических антенн темп затухания по-прежнему равен 6 дБ/октава.

На рис. 11 показан график затухания сигнала на дистанции связи 14λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б).

Этот график подтверждает тот факт (см. рис. 10), что в дальней зоне затухание не изменяется в пределах погрешности аппаратуры с увеличением расстояния, поэтому темп затухания равен ~ 0 дБ/октава на частоте 2,3164 (маркер «5»), но у всех классических антенн темп затухания по-

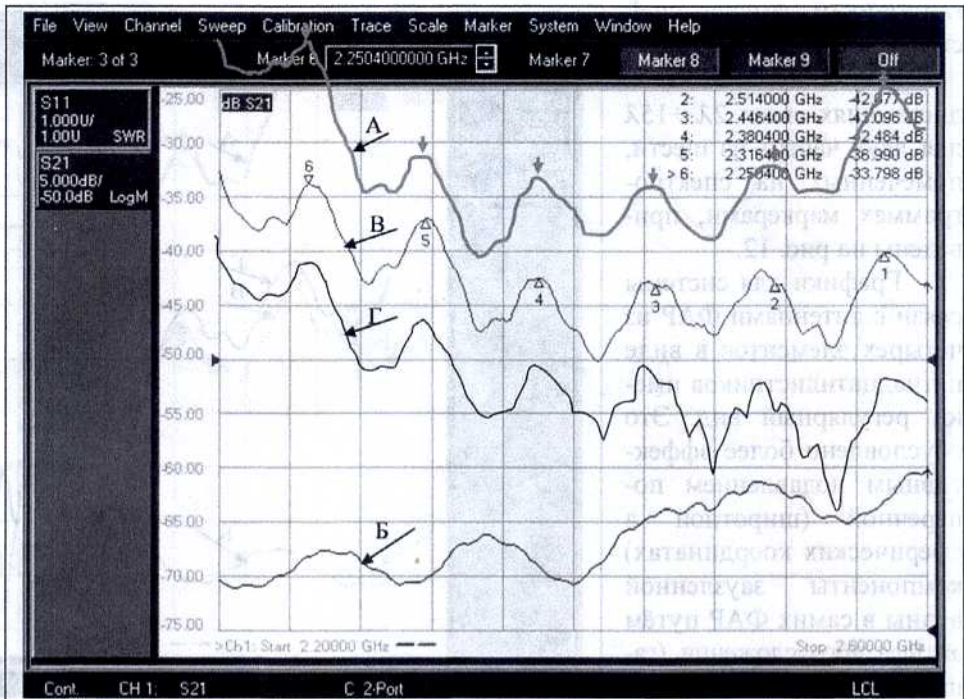


Рис. 7. График затухания сигнала на дистанции связи 2λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б)

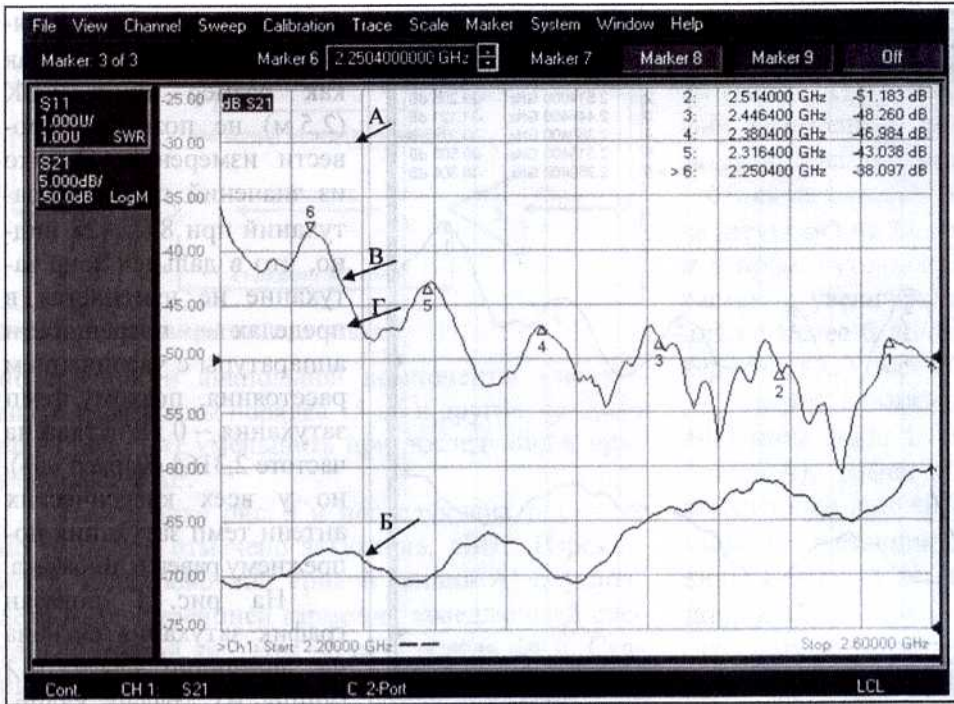


Рис. 8. График затухания сигнала на дистанции связи 4λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б)

прежнему равен 6 дБ/октава. На рис. 6–11 первая частота, помеченная маркером «стрелка» и цифрой «1» равна 2,55 ГГц, «2» – 2,514 ГГц, «3» – 2,446 ГГц, «4» – 2,380 ГГц, «5» – 2,316 ГГц, «6» – 2,250 ГГц. Максимумы на маркерах калибровочной кривой и графиках затухания соответствуют гармоникам замедляющей системы в форме ФАР.

Затухание на всех дистанциях связи $2\lambda \div 15\lambda$ для двух частот из шести, помеченных на спектрограммах маркерами, приведены на рис. 12.

Графики для системы связи с антеннами ФАР из четырех элементов в виде пятнадцатилистников имеют регулярный вид. Это обусловлено более эффективным подавлением поперечной (широтной в сферических координатах) компоненты заузленной волны в самих ФАР путём антифазного сложения (гашения) излучения этой компоненты перпендикулярно оси ФАР, кроме то-

го эта компонента подавляется в многослойном поглотителе БЭК. Анапольная (азимутальная в сферических координатах) компонента подавляется путём антифазного сложения (гашения) её вдоль оси ФАР, так как элементы ФАР расставлены вдоль оси ФАР через половину волны середины частотного диапазона замедляющей системы решетки. Витки узлов этих элементов намотаны с чередованием правой и левой спиральности. Почти полное отсутствие поперечной и анапольной компоненты обуславливает почти полное отсутствие паразитных интерференционных

биений в пучке заузленного луча, остаётся только заузленная продольная (радиальная в сферических координатах) компонента. Сильное биение на высокочастотном краю (около 2,55 ГГц) всего рабочего диапазона частот ФАР обусловлено, видимо, влиянием большой межэлементной ёмкости, кото-

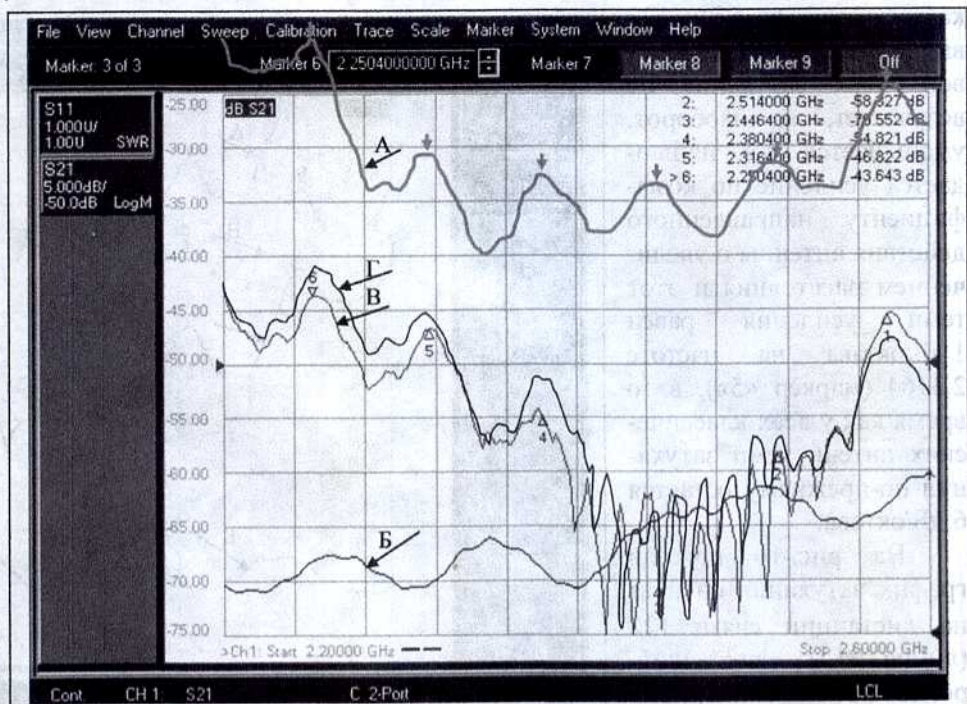


Рис. 9. График затухания сигнала на дистанции связи 6λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б)

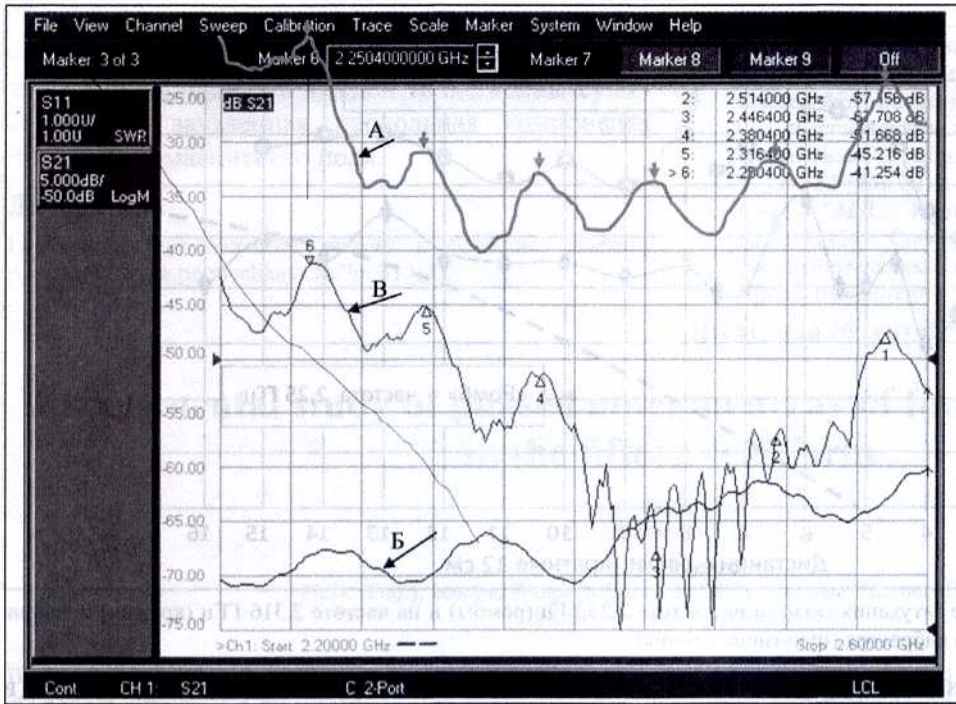


Рис. 10. График затухания сигнала на дистанции связи 12λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б)

рающая порождает известную паразитную поверхностную волну в ФАР, отбирающую энергию на своё излучение.

Несколько большее по модулю затухание, чем стандартного полуволнового вибратора, на всех частотах ФАР связано с перераспределением энергии по широкополосному спектру гармоник замедляющей системы фазированной антенной решетки. Известно, что по формуле радиосвязи $P = WK_{y\text{ пер}} K_{y\text{ пр}} \lambda^2 / (4\pi R)^2$ для антенн в виде полуволнового вибратора на дистанции связи 2λ затухание равно 24 дБВт (для дистанции связи λ затухание равно 18 дБВт). На рис. 12 для ФАР на частоте 2,316 ГГц на дистанции связи 2λ эти потери по величине равны -37 дБ, что на 13 дБ больше (по модулю), чем у полуволнового вибратора. Т.е. нагруженная сопротивлением излучения антенна ФАР имеет более низкую электрическую

эффективную добротность, этот факт известен для антенн в виде замедляющих спиральных структур с входным волновым сопротивлением порядка ~ 120 Ом (волновое сопротивление вакуума 370 Ом). Суммарные потери подводимой к фазированной антенной решетке по кабелю СВЧ-энергии на преобразование в излучение заузленной компоненты определяются калибровочной кривой. Например, на гармонике с длиной волны, соответствующей частоте 2,316 ГГц (метка «5» на спектрограмме), эти потери по уровню равны -28,505 дБВт. Если учесть эти потери в ФАР с помощью

калибровочной кривой, то потери подводимой СВЧ-энергии в излучение (в ближней зоне) могут быть даже меньше, чем в полуволновом вибраторе. Значения калибровочной кривой необходимо вычитать из значений графика затухания на одинаковых частотах. Так, для наиболее прием-

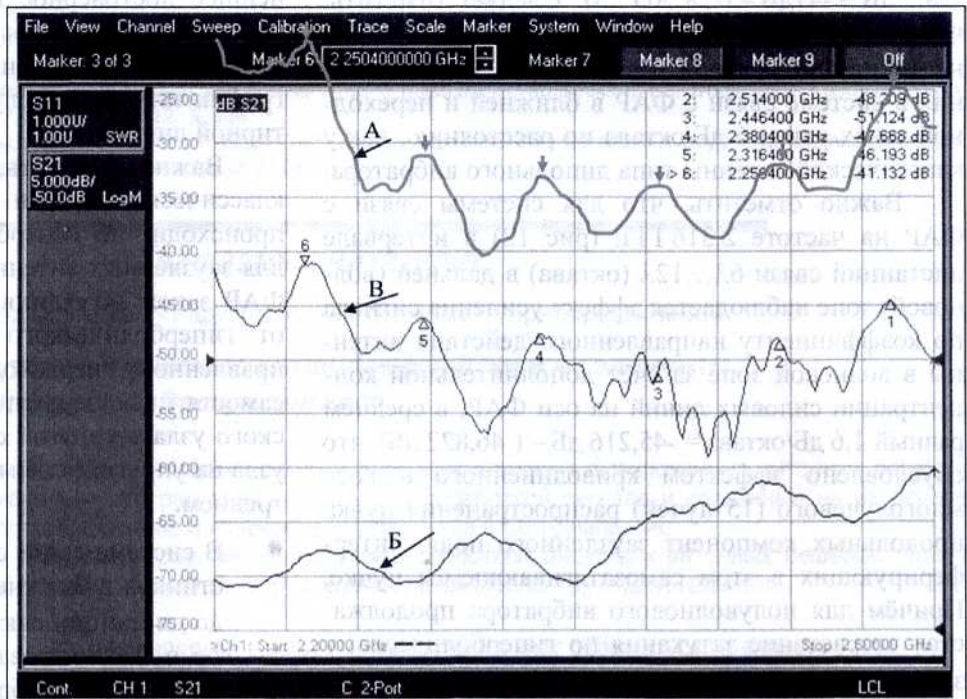


Рис. 11. График затухания сигнала на дистанции связи 14λ (линия В), график калибровки (линия А), график КСВн ФАР (линия Б)

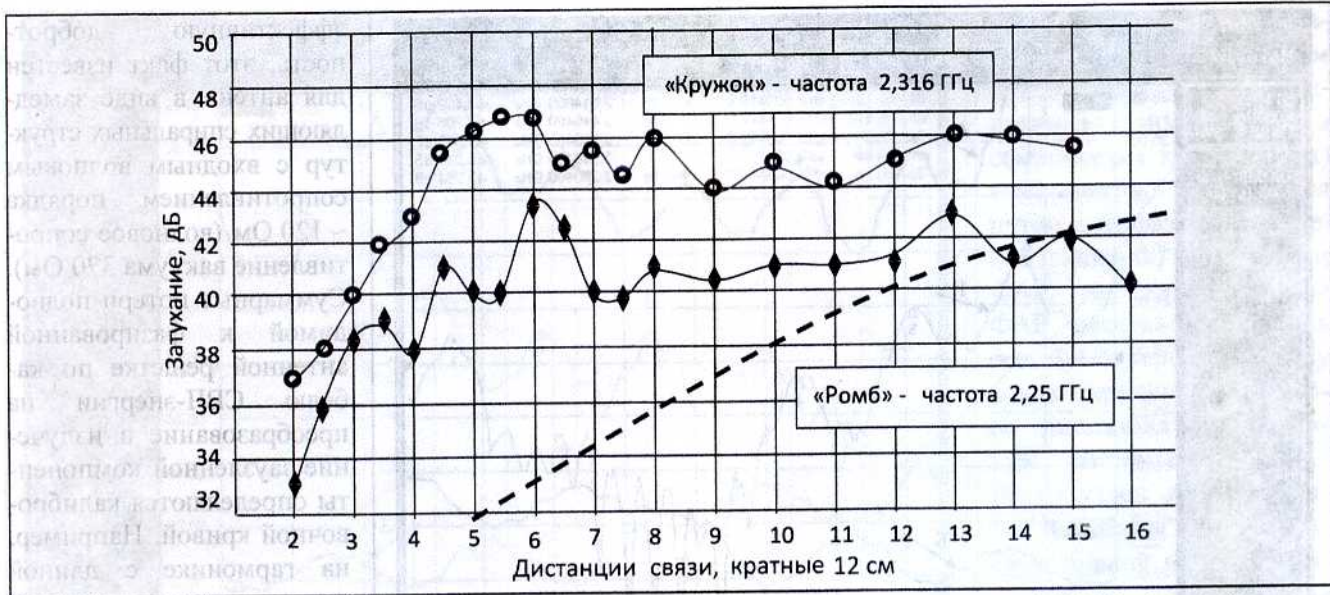


Рис. 12. Графическое представление затухания сигнала на частоте 2,25 ГГц (ромбы) и на частоте 2,316 ГГц (кружки) и закона затухания излучения полуволнового вибратора (пунктирная линия)

лемой для использования указанной ранее частоты 2,316 ГГц на дистанции связи 2λ имеем потери на излучение за вычетом потерь на преобразование в замедляющей системе ФАР, равные (см. рис. 12) $-8,5 \text{ дБ} = -37 \text{ дБ} - (-28,505 \text{ дБ})$. Это наилучший результат для всех дистанций связи. Наихудший результат получается для переходной области: от ближней зоны в дальнюю зону при дистанции связи $\leq 5\lambda$, где чистые потери на излучение равны $-18,5 \text{ дБ} = -47 \text{ дБ} - (-28,505 \text{ дБ})$. Следует отметить, что потери на излучение полуволнового вибратора на дистанции связи 5λ равны -32 дБ . Темп затухания в системе связи с ФАР в ближней и переходной зонах равен 6 дБ/октава по расстоянию, как у классической антенны типа дипольного вибратора.

Важно отметить, что для системы связи с ФАР на частоте 2,316 ГГц (рис. 12) в интервале дистанций связи $6\lambda \dots 12\lambda$ (октава) в дальней (волновой) зоне наблюдается эффект усиления сигнала по коэффициенту направленного действия антенны в волновой зоне за счёт дополнительной концентрации силовых линий на оси ФАР, в среднем равный $1,6 \text{ дБ/октава} = -45,216 \text{ дБ} - (-46,822 \text{ дБ})$, что обусловлено эффектом криволинейного в косе многолучевого (15 лучей) распространения пучка продольных компонент заузленного поля, интерферирующих в этом самозатягивающемся пучке. Причём для полуволнового вибратора продолжается возрастание затухания по гиперболическому закону, и на дистанции связи 12λ оно становится равным по величине -40 дБВт . На дистанциях связи $10\lambda \dots 15\lambda$ и далее затухание в волновой зоне в

системе связи с ФАР практически не изменяется (в пределах погрешности измерительного прибора не более 1 дБ) и остаётся на уровне, в среднем равном -42 дБВт , а с учётом потерь на преобразование, равных 28 дБ (по калибровочной кривой), потери на излучение равны -14 дБВт . При этом для полуволнового вибратора затухание излучения продолжает возрастать, и на дистанции 15λ оно становится равным по величине -42 дБВт . Дальнейшее достоверное исследование по дальности невозможно в силу ограниченности размеров безэховой камеры. На рис. 12 для сравнения нанесён график затухания полуволнового вибратора пунктирной линией.

Важно отметить, что для всех известных классических антенн закон затухания излучения происходит по гиперболическому закону, однако для заузленных антенн в виде четырехэлементных ФАР закон затухания принципиально отличается от гиперболического и соответствует сверхнаправленному нерасходящемуся пучку или даже самозатягивающемуся, как для любого топологического узла в упругой среде с потерями, например, узла на упругой одномерной струне с диссипацией трением.

- В системе связи с ФАР в виде пятнадцатиэлементников в ближней зоне и в переходной зоне до дистанции связи 5λ затухание возрастает в темпе 6 дБ/октава по расстоянию, как и в полуволновом вибраторе. Однако в волновой зоне затухание практически не меняется (и даже уменьшается), что соответствует нерас-

ходящемуся пучку волны в форме топологической косы. При этом в сопутствующей системе координат в каждой точке волны существует заузленная продольная компонента электромагнитного поля.

Литература

1. Кривой луч зажигает плазму и большие надежды (<http://www.permvelikaya.ru/?p=3171>).

2. *Вендик О.Г., Парнес М.Д.* Антенны с электрическим сканированием луча (введение в теорию) / под ред. *Л.Д. Бахраха*. М.: Радиотехника. 2001.
3. *Смелов М.В.* Экспериментальное исследование заузленных антенн в форме трилистника и пятилистника // *Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот*. Т. 17. № 1 (46). 2012. С. 136.
4. *Смелов М.В., Татур В.Ю.* Заявка на изобретение № 201221248. Способ и антенна для передачи и приёма сверхнаправленных заузленных электромагнитных волн. Приор. изобретения от 24.05.2012.

Поступила 26 сентября 2013 г.

Experimental study of phased antenna array of four knotted antennas in the fifteen-leaf form

© Authors, 2014

© Radiotekhnika, 2014

M. V. Smelov

Ph.D. (Eng.), Leading Research Scientist, JSC "Corporation "Comet" (Moscow)

E-mail: smelovsoliton@mail.ru

The results of a pilot study of the phased antenna array (PAA) consisting of four elements, designed in the form of wire knotted antennas in the form of fifteen-leaves are described in this article. The radio communication system with such transferring and receiving element has abnormally low attenuation on the increase of a communication distance, that is signal attenuation rate is no more than 1,5 dB/octave (octave – increase of communication distance twice), while classical antennas have attenuation rate of 6 dB/octave. The communication system with PAA consisting of these elements don't find signal attenuation on the increase of a communication distance within an error of measuring equipment, that is the bunch of a knotted electromagnetic wave practically doesn't disperse. For example at a communication distance of 2 meters signal attenuation rate is no more than 0,5 dB/octave.

Measurements were carried out in the multilayered anechoic camera. The anechoic camera consisting of five layers of radio absorber, had reflection suppression of ≥ 100 dB. The communication distance of two PAA in the anechoic camera with the length of 2,5 m was changed in the range from two wave lengths (24 cm) to 15 wave lengths (180 cm). The operating frequency of the communication system is 2,316 GHz.

References

1. Krivoj luch zazhigaet plazmu i bol'shie nadezhdy (<http://www.permvelikaya.ru/?p=3171>).
2. *Vendik O.G., Parnes M.D.* Antennы s e'lektricheskim skanirovaniem lucha (vvedenie v teoriyu) / pod red. *L.D. Bakhrakha*. M.: Radiotekhnika. 2001.
3. *Smelov M.V.* E'ksperimental'noe issledovanie zauzlennykh antenn v forme trilistnika i pyatilistnika // *E'lektrodinamika i tekhnika SVCh, KVCh i opticheskikh chastot*. T. 17. № 1 (46). 2012. S. 136.
4. *Smelov M.V., Tatur V.Yu.* Zayavka na izobretenie № 201221248. Sposob i antenna dlya peredachi i priyoma sverkhnapravlennykh zauzlennykh e'lektromagnitnykh voln. Prior. izobreteniya ot 24.05.2012.

Уважаемые читатели!

В Издательстве «Радиотехника» Вы можете приобрести книгу

Бортовые цифровые антенные решётки и их элементы.

Под ред. Д.И. Воскресенского

ISBN 978-5-88070-338-8

Рассмотрены характеристики бортовых активных фазированных антенных решёток с цифровым диаграммообразованием и обработкой сигнала и созданные на их основе распределительные и излучающие устройства в СВЧ-диапазоне.

Для инженеров, занимающихся разработкой цифровых антенных решёток. Может быть полезна студентам, обучающимся по направлению «Радиотехника».

По вопросам заказа и приобретения книг обращаться по адресу:

107031 г. Москва, Кузнецкий мост, 20/6.

Тел./факс: (495) 625-92-41, тел.: (495) 625-78-72, 621-48-37;



Издательство «Радиотехника» выпускает следующие журналы:

РАДИОТЕХНИКА

Главный редактор – академик РАН Ю. В. Гуляев
Международный научно-технический журнал, освещающий широкий круг проблем приоритетных направлений развития систем связи, локализации, навигации, радиоэлектронных устройств и схем. Содержит под обложкой журнал в журнале «Радиосистемы». Включен в Перечень ВАК

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Главный редактор – академик РАН А. С. Бугаев
Международный научно-технический журнал, публикующий обзоры о современных проблемах радиоэлектроники и смежных областей науки и техники. Включен в Перечень ВАК

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Главный редактор – чл.-корр. РАН В.А. Черепенин
Международный научно-технический и теоретический журнал, освещающий фундаментальные и прикладные научно-технические проблемы, относящиеся к разработке новых математических методов, математическому моделированию физических процессов, космическим исследованиям, физике и технике СВЧ, миллиметровым и субмиллиметровым волнам, вопросам метрологии и информационно-измерительным системам. Включен в Перечень ВАК

БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Главный редактор – академик РАН Ю. В. Гуляев
Международный научно-прикладной журнал, содержащий материалы по биомедицинским технологиям, воздействию электромагнитных колебаний на биологические объекты, а также информацию о новых приборах для применения в биологии, биомедицинских технологиях и медицине. Включен в Перечень ВАК

АНТЕННЫ

Главный редактор – д. т. н., профессор А. П. Курочкин
Международный научно-технический и теоретический журнал, содержащий научные оригинальные и обзорные статьи по основным направлениям теории и техники антенн и фидерных устройств. Включен в Перечень ВАК

НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ: разработка, применение

Главный редактор – д. ф.-м. н., профессор А. В. Чечкин
Международный научно-технический журнал, посвященный актуальным вопросам разработки и применения интеллектуальных информационных систем и технологий, приложениям теории искусственных нейронных сетей и нейромоделирования, нейронауке и интеллекту в целом. Включен в Перечень ВАК

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Главный редактор – д. т. н., профессор В. П. Марин
Международный научно-технический журнал, освещающий новые наукоемкие энергосберегающие технологии в экологии, медицине, промышленности, а также в науках о Земле. Включен в Перечень ВАК

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Главный редактор – д. т. н., профессор В. С. Верба
Международный научно-технический журнал, отражающий вопросы разработки и проектирования информационно-измерительных и управляющих систем, создания средств и методов для измерения угловых, линейных и механических величин. Включен в Перечень ВАК

НЕЛИНЕЙНЫЙ МИР

Главный редактор – д. ф.-м. н., профессор А. А. Потапов
Международный научно-технический и теоретический журнал, отражающий фундаментальные направления физики, математики, других естественных и гуманитарных наук с междисциплинарных позиций синергетики и нелинейной динамики. Включен в Перечень ВАК

ТЕХНОЛОГИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Главный редактор – д. м. н., академик РАН и РАНН А. И. Григорьев
Международный научно-теоретический и прикладной журнал, отражающий фундаментальные и прикладные проблемы наук о жизни (биомедицинские технологии, биоматериаловедение) и результаты исследований на стыке биологии, медицины, химии и других естественных, гуманитарных и точных наук с междисциплинарных позиций. Включен в Перечень ВАК

СИСТЕМЫ ВЫСОКОЙ ДОСТУПНОСТИ

Главный редактор – д. т. н., чл.-корр. Академии криптографии В. И. Будзко
Научно-технический журнал освещает достижения по обеспечению конфиденциальности, доступности и целостности информации для класса информационно-телекоммуникационных систем высокой доступности. Включен в Перечень ВАК

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОСТРУКТУРЫ

Главный редактор – чл.-корр. РАН А. С. Сигов
Международный научно-технический и теоретический журнал, содержащий статьи по структурам и свойствам наноматериалов от твердотельных до биологических объектов, по технологиям изготовления и методам исследования наноструктур с разнообразными приложениями от электроники до катализа и биотехнологий, а также отражающий результаты в области наноиндустрии. Включен в Перечень ВАК

ВОПРОСЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ, МЕДИЦИНСКОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Главный редактор – академик РАН и РАСХН В. А. Быков
Научно-практический журнал, содержащий материалы, посвященные проблемам биологической, медицинской и фармацевтической химии, непосредственно связанным с развитием современной медицины. Включен в Перечень ВАК

ДИНАМИКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Главный редактор – д. т. н., профессор А. С. Шалумов
Международный и междисциплинарный научный журнал, освещающий широкий круг вопросов по динамике социально-экономических, правовых и технических систем. Журнал рассматривает нелинейные процессы в динамических системах, раскрывает методологию исследований сложных систем, а также содержит материалы по теоретико-математическому и технологическому моделированию систем и процессов. Включен в Перечень ВАК

"Antenny" (Antennas) is a scientific and technical journal on main areas of antenna and feeder devices theory and engineering. Established in 1966

ISSN 0320-9601

«Антенны», выпуск 9 (208), 2014

Индекс 48135