



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2009135539/09, 23.09.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.09.2009

(45) Опубликовано: 27.09.2010 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: DE 3642072 A1, 23.06.1988. RU 2319261 C1,  
10.03.2008. RU 2278453 C1, 20.06.2006. GB  
1074899 A, 05.07.1967. US 5057842 A,  
15.10.1991.

Адрес для переписки:

170026, г.Тверь, наб. А. Никитина, 32,  
ФГУ "2 ЦНИИ Минобороны России", бюро  
по изобретательству, пат.пов. А.А.Звонову,  
рег.№ 294

(72) Автор(ы):

Ковалев Сергей Владимирович (RU),  
Король Олег Владимирович (RU),  
Нестеров Сергей Михайлович (RU),  
Подъячев Виталий Владимирович (RU),  
Скородумов Иван Алексеевич (RU)

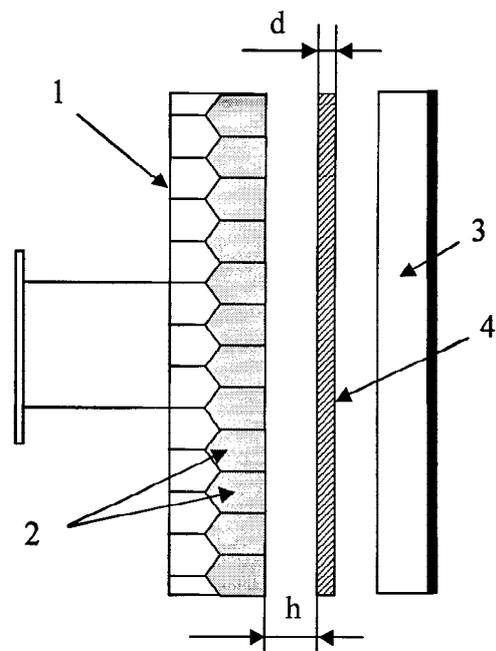
(73) Патентообладатель(и):

ФГУ "2 ЦНИИ Минобороны России" (RU)

(54) РАДИОЛОКАЦИОННАЯ АНТЕННА С УМЕНЬШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДЬЮ  
РАССЕЯНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к антенной технике. Технический результат заключается в уменьшении эффективной площади рассеяния антенны в полосе ее рабочих частот. В радиолокационной антенне, содержащей минимум один излучатель, работающий в заданной полосе рабочих частот, размещены перед излучателями в одной плоскости устройства частотной селекции с полосовыми характеристиками, позволяющими пропускать электромагнитное излучение в полосе рабочих частот, а за пределами этой полосы отражать излучение, перед излучателями на заданном расстоянии размещается тонкий диэлектрический лист с высокой диэлектрической проницаемостью. 7 ил.



Фиг.2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*H01Q 15/14* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2009135539/09, 23.09.2009**

(24) Effective date for property rights:  
**23.09.2009**

(45) Date of publication: **27.09.2010 Bull. 27**

Mail address:

**170026, g.Tver', nab. A. Nikitina, 32, FGU "2  
TsNII Minoborony Rossii", bjuro po  
izobretatel'stvu, pat.pov. A.A.Zvonovu, reg.№ 294**

(72) Inventor(s):

**Kovalev Sergej Vladimirovich (RU),  
Korol' Oleg Vladimirovich (RU),  
Nesterov Sergej Mikhajlovich (RU),  
Pod"jachev Vitalij Vladimirovich (RU),  
Skorodumov Ivan Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**FGU "2 TsNII Minoborony Rossii" (RU)**

**(54) RADAR ANTENNA WITH DECREASED EFFECTIVE SCATTERING AREA**

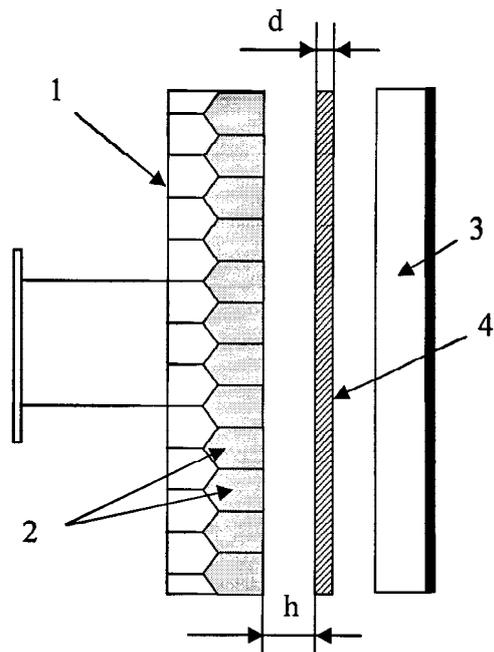
(57) Abstract:

FIELD: radio engineering.

SUBSTANCE: in radar antenna containing at least one radiator operating within the specified working frequency band there arranged before radiators in one plane are frequency selection devices with band pass characteristics allowing to pass electromagnetic radiation in working frequency band, and to reflect the radiation beyond that band; before radiators at the specified distance there arranged is thin dielectric sheet with high dielectric permeability.

EFFECT: decreasing effective scattering area of antenna within its working frequency band.

7 dwg



Фиг.2

RU 2 400 882 C1

RU 2 400 882 C1

Заявляемое изобретение относится к радиотехнике, а именно к антенной технике, и может быть использовано при проектировании антенных устройств с уменьшенной эффективной площадью рассеяния (ЭПР).

5 Одними из основных элементов конструкции современных самолетов, вносящих существенный, до 30% и более, вклад в их ЭПР в секторах передней полусферы, являются антенны бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО). Из всех антенн БРЭО наибольший вклад в ЭПР самолета вносит носовой антенный отсек с антенной бортовой радиолокационной станции (БРЛС). Для снижения заметности антенн БРЭО принимаются всевозможные меры, в том числе и замена зеркальных параболических антенн на активные фазированные антенные решетки (АФАР) [Зарубежное военное обозрение. №11 (680), Москва, 2003]. За счет этого решается проблема снижения уровней отражений от элементов оборудования, расположенных за раскрывом антенны. Кроме того, приемно-излучающие модули АФАР могут 15 устанавливаться на малоотражающем основании (плоскости), где в отличие от волноводно-щелевых ФАР уровни их ЭПР в основном определяются отражением от излучающих элементов модулей. Однако в настоящее время задачу создания малозаметных антенн нельзя считать полностью решенной, поэтому особую ценность приобретают оригинальные технические решения, позволяющие приблизиться к ее решению.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому является антенна с уменьшенной поверхностью обратного рассеивания 1 (фиг.1) [DE 3642072. МКИ: G01S 7/38, H01Q 15/14, 1988, №25], содержащая минимум один излучатель 2, работающий в заданной полосе рабочих частот, размещенные перед излучателем в одной плоскости устройства частотной селекции 3 с полосовыми характеристиками, позволяющими пропускать электромагнитное излучение в полосе рабочих частот, а за пределами этой 25 полосы отражать излучение. Очевидно, что основным недостатком такой антенны является ее "заметность" в полосе рабочих частот, когда антенна переотражает в обратном направлении часть энергии, приходящей от внешнего источника излучений.

Задачей настоящего изобретения является уменьшение эффективной площади рассеяния антенны в полосе ее рабочих частот.

35 Техническим результатом, обеспечивающим решение указанной задачи, является антенна со сниженной радиолокационной заметностью в полосе ее рабочих частот.

Указанная задача и достижение заявленного технического результата достигаются тем, что в радиолокационной антенне с уменьшенной эффективной площадью рассеяния, содержащей минимум один излучатель, работающий в заданной полосе рабочих частот, размещенные перед излучателем в одной плоскости устройства частотной селекции с полосовыми характеристиками, позволяющими пропускать электромагнитное излучение в полосе рабочих частот, а за пределами этой полосы отражать излучение, согласно изобретению перед излучателями на расстоянии  $h$  размещают диэлектрический лист толщиной  $d$ , при этом численные значения величин  $h$  и  $d$  выбирают из соотношений

$$h = (2n - 1)\lambda / 4\sqrt{\varepsilon - 1}, \quad d \approx 0,03 \dots 0,07\lambda,$$

где  $n=1, 2, 3 \dots$ ;

$\lambda$  - средняя рабочая длина волны;

50  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость диэлектрического листа,  $\varepsilon \approx 4 \dots 8$ .

Поясним данное техническое решение. Из теории проектирования фазированных антенных решеток [Антенны и устройства СВЧ (проектирование фазированных антенных решеток), под ред. Д.И.Воскресенского. М.: Радио и связь. 1981. С.41]

известно, что взаимное влияние излучателей решетки при электронном сканировании уменьшает реализуемое усиление АФАР, а также приводит к искажению ее диаграммы направленности. С целью устранения этих недостатков на практике используют способы широкоугольного согласования АФАР, часть из которых предусматривает размещение перед излучающим раскрытием дополнительных элементов, отражение от которых уменьшает изменение входного сопротивления излучателей при сканировании. Один из способов заключается в использовании тонкого диэлектрического листа с высокой диэлектрической проницаемостью, размещаемого на малом расстоянии от решетки излучателей. Этот лист действует подобно реактивному сопротивлению, которое изменяется при электронном сканировании. При этом величина сектора сканирования не изменяется, если с уменьшением толщины листа увеличивать его диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$ .

Ввиду того, что при достаточно больших значениях  $\epsilon$  отклонение луча от нормали приводит к возникновению в антенной решетке волны, подобной поверхностной волне, распространяющейся внутри диэлектрика, но затухающей в свободном пространстве, увеличение толщины диэлектрического листа больше некоторой критической вызывает появление резонансного пика на кривой коэффициента отражения, максимальное значение которого практически равно 1 и который, при увеличении толщины покрытия, смещается в направлении к нормали АФАР [Антенны и устройства СВЧ (проектирование фазированных антенных решеток), под редакцией Д.И.Воскресенского. М.: Радио и связь. 1981. С.217].

Для каждого значения диэлектрической проницаемости можно найти такую толщину листа, при которой модуль и фаза коэффициента отражения мало меняются практически во всей рабочей области сканирования, т.е. в области, где существует только один главный луч. Анализ возможных вариантов широкополосного согласования [Антенны и устройства СВЧ (проектирование фазированных антенных решеток), под ред. Д.И.Воскресенского. М.: Радио и связь. 1981. С.214-222] позволяет делать вывод о том, что для диэлектрического листа значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  находится в пределах от 4 до 8. При этом согласование обеспечивается, когда толщина тонкого листа  $d$  меньше длины волны  $\lambda$ , т.е. соответствует условию  $d \approx 0,03 \dots 0,07\lambda$ . С увеличением диэлектрической проницаемости задача широкополосного согласования становится еще труднее.

В случае использования диэлектрического листа с высокой диэлектрической проницаемостью вблизи раскрытия АФАР отражение от границы раздела "покрытие - свободное пространство" используется для частичного устранения отражения от раскрытия [Антенны и устройства СВЧ (проектирование фазированных антенных решеток), под ред. Д.И.Воскресенского. М.: Радио и связь. 1981. С.216].

Рассмотрим, раскрыв АФАР с излучателями, соизмеримыми с рабочей длиной волны как плоскую проводящую поверхность больших волновых размеров. Такая синфазная поверхность имеет максимум диаграммы обратного отражения, совпадающий с нормалью к плоскости [Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. М.: Сов. радио. 1975. С.211].

Известно, что для противорадиолокационной маскировки металлических объектов применяются радиопоглощающие материалы интерференционного типа [Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки М.: Сов. радио. 1968. С 347], структура которого выбирается так, чтобы падающая и отраженная волны компенсировали друг друга. Падающая волна многократно отражается от границы раздела двух сред "покрытие - объект" и частично

поглощается в структуре покрытия.

Простейшая схема интерференционного покрытия представляет собой слой диэлектрика заданной толщины, наложенный на защищаемый металл. Поглощающая способность интерференционного покрытия и его диапазонность существенно зависят от количества слоев, толщины слоев и электрических параметров используемых материалов. Эффективность действия интерференционного покрытия зависит от угла падения электромагнитной энергии на их поверхность. Минимальное отражение достигается при нормальном падении радиоволн, при других углах падения коэффициент отражения резко возрастает.

Также известны более перспективные с точки зрения весовых и габаритных характеристик резонансные покрытия интерференционного типа. Простейшим представителем такого покрытия является двухслойная структура, состоящая из диэлектрика и резистивной пленки [Великанов В. Д. и др. Радиотехнические системы в ракетной технике. - М.: Воениздат, 1974. С.230] с входным сопротивлением нормально отражающей поверхности 377 Ом. Эквивалентная схема двухслойной структуры "диэлектрик-воздух" (одноконтурного поглотителя) приведена на фиг.3. В схеме постоянное сопротивление пленки R включено параллельно входу однородной линии длиной  $\lambda / 4\sqrt{\epsilon_d}$ . Входное сопротивление z короткозамкнутой линии с волновым сопротивлением  $z_0 / \sqrt{\epsilon_d}$  равно

$$z = j \frac{z_0}{\sqrt{\epsilon_d}} \operatorname{tg} \frac{\pi}{2} \frac{\lambda}{\lambda_d},$$

где  $\lambda$  - средняя рабочая длина волны;

$\lambda_d$  - длина волны в диэлектрике с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_d$ .

Такие резонансные покрытия интерференционного типа нашли широкое применение не только для противорадиолокационной маскировки летательных аппаратов, но и для защиты от радиолокационного обнаружения артиллерийских позиций, а также металлических объектов, хранящихся на открытых складах (контейнеры, емкости и т.д.) [Радиоэлектроника в 1968 году (обзор по материалам иностранной печати). VIII. М.: НИИЗИР. С.27].

Проводя аналогию между резистивной пленкой и тонким диэлектрическим листом и учитывая, что воздушная прослойка для АФАР есть частный случай диэлектрика ( $\epsilon_d=1$ ) в двухслойной структуре резонансного покрытия интерференционного типа, определим соотношения для расстояния между излучателями АФАР и тонким диэлектрическим листом.

Безусловно, тонкий диэлектрический лист по своим радиофизическим характеристикам не в полной мере заменяет резистивную пленку, да и к тому же одновременно должен обеспечивать широкополосное согласование в АФАР. Поэтому требуется решить компромиссную задачу.

Для того чтобы падающая и отраженная волны компенсировали друг друга, диэлектрический лист ( $\epsilon \approx 4 \dots 8$ ) с согласованным импедансом необходимо размещать таким образом, чтобы его граничная поверхность находилась на расстоянии  $h$  от излучателей (отражающего металлизированного основания) исходя из соотношения

$$h = (2n - 1)\lambda / 4\sqrt{\epsilon - 1},$$

где  $n=1, 2, 3 \dots$ ;

$\lambda$  - средняя рабочая длина волны.

В результате наложения падающей и отраженной волны в воздушном пространстве (диэлектрике) возникают стоячие волны. Если расстояние  $h$  равно

нечетному числу четвертей длин падающей радиоволны, а волновое сопротивление диэлектрической пластины равно волновому сопротивлению свободного пространства, то электромагнитная энергия не будет отражаться.

5 Создать идеальные условия для полного поглощения радиоволны практически не возможно. Однако основными факторами потерь отраженной энергии для такой структуры одновременно являются: сложение в противофазе падающей и отраженной волны (фиг.4а), многократное отражение от границ раздела сред с поглощением в диэлектрике и воздушной прослойке (фиг.4б), а также преобразование падающей 10 энергии в энергию поверхностной волны (фиг.4с). В качестве материала для диэлектрического листа с высокой диэлектрической проницаемостью может быть выбрана пластмасса. Например, высокочастотная типа ЭЗ-340-65, Э4-100-30, Э5-101-30, Э6-014-30 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon \approx 4 \dots 6$  или АГ-4 ( $\epsilon \approx 5 \dots 8$ ) [Физические величины. Справочник. Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейнихова. М.: 15 Энергоатомиздат. 1991. С.549]. Требуемое значение диэлектрической проницаемости также обеспечивают различные марки гетинакса ( $\epsilon \approx 7 \dots 8$ ), текстолита ( $\epsilon \approx 8$ ) и стеклотекстолита ( $\epsilon \approx 5 \dots 6$ ).

Существо предлагаемого технического решения поясняется фигурами 1-7, на 20 которых представлена радиолокационная антенна с уменьшенной эффективной площадью рассеяния, а также результаты экспериментальных исследований ее модели в условиях Эталонного радиолокационного измерительного комплекса 2 ЦНИИ Минобороны России ["Эталонный радиолокационный измерительный комплекс открытого типа (ЭРИК)". Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. 25 Противовоздушная и противоракетная оборона. Том IX. М.: Оружие и технологии. 2004. С.385].

На фиг.1 приведена схема известной радиолокационной антенны с уменьшенной эффективной площадью рассеяния.

30 На фиг.2 - схема предлагаемой радиолокационной антенны с уменьшенной эффективной площадью рассеяния.

На фиг.3 - зависимость коэффициента отражения  $\Gamma$  от отношения  $\lambda/\lambda_d$  для эквивалентной схемы одноконтурного поглотителя: двухслойной структуры "диэлектрик-воздух".

35 На фиг.4 - схема прохождения падающей волны в одноконтурном поглотителе.

На фиг.5 - внешний вид модели известной антенны: плоская металлическая пластина размерами  $1,25\lambda \times 25\lambda$ , моделирующая 20 лежащих в одной плоскости излучателей (2).

40 На фиг.6 - внешний вид модели предлагаемой антенны: та же металлическая пластина размерами  $1,25\lambda \times 25\lambda$ , с расположенным перед ней на расстоянии  $h=0,33\lambda$  соразмерным диэлектрическим листом (4) толщиной  $d=0,05\lambda$ , изготовленным из стеклотекстолита СТЭФ-1 ( $\epsilon \approx 6$ ).

45 На фиг.7 слева приведены диаграмма обратного отражения модели известной (к) и предлагаемой (f) антенны на длине волны  $\lambda=3,2$  см для горизонтальной (m) и вертикальной (q) поляризации радиоизлучения, а также соответствующие им функции распределения значений ЭПР (фиг.7 справа) в секторе углов наблюдения  $0 \pm 5^\circ$ .

50 Радиолокационная антенна с уменьшенной эффективной площадью рассеяния представлена на фиг.2. Она содержит минимум один излучатель 2, работающий в заданной полосе рабочих частот, размещенные перед излучателем в одной плоскости устройства частотной селекции 3 с полосовыми характеристиками, позволяющими пропускать электромагнитное излучение в полосе рабочих частот, а за пределами этой

полосы отражать излучение. Перед излучателями 2 на расстоянии  $h$  размещен диэлектрический лист 4 толщиной  $d$ , при этом численные значения величин  $h$  и  $d$  выбираются из соотношений

$$h = (2n - 1)\lambda / 4\sqrt{\varepsilon - 1}, d \approx 0,03 \dots 0,07\lambda$$

где  $n=1, 2, 3 \dots$ ;

$\lambda$  - средняя рабочая длина волны;

$\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость диэлектрического листа,  $\varepsilon \approx 4 \dots 8$ .

Радиолокационная антенна с уменьшенной эффективной площадью рассеяния работает следующим образом. На раскрыв антенны падает плоский фронт электромагнитной волны. Устройства частотной селекции с заданными полосовыми характеристиками пропускают электромагнитное излучение в полосе рабочих частот антенны, а за пределами этой полосы отражают излучение в разные стороны, исключая обратные переотражения в сторону источника излучения.

Электромагнитная волна в полосе рабочих частот антенны, пройдя устройства селекции, частично отражается от внешней поверхности размещенного перед излучателями на заданном расстоянии диэлектрического листа с высокой диэлектрической проницаемостью и складывается в противофазе с волной, прошедшей через диэлектрический лист, воздушную прослойку и отраженной от излучателей. Прошедшая через диэлектрический лист волна многократно отражается от границы раздела «излучатели-воздух» и «диэлектрик-воздух», поглощается в диэлектрике и воздушной прослойке, возбуждает поверхностную волну, распространяющуюся вдоль диэлектрика, и в итоге затухает в свободном пространстве. Таким образом, за счет сложения волн в противофазе и потерь ее энергии исключается обратное переотражение электромагнитной волны от антенны в направлении нормали к ее раскрыву.

Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что предлагаемая радиолокационная антенна с уменьшенной эффективной площадью рассеяния по сравнению с известной антенной-прототипом имеет меньшие значения ЭПР (по уровню вероятности (P) 0,5) в секторе локации  $0 \pm 5^\circ$  относительно нормали к раскрыву антенны на 7,8 дБ и 3,7 дБ соответственно для горизонтальной и вертикальной поляризации радиоизлучения.

Реализация заявляемой антенны с уменьшенной эффективной площадью рассеяния не представляет трудностей. Очевидно, что изобретение не ограничивается вышеизложенным примером его осуществления. Исходя из его схемы могут быть предусмотрены и другие варианты его осуществления, не выходящие за рамки изобретения.

Устройство целесообразно использовать в организациях, занимающихся проектированием антенных радиолокационных систем.

#### Формула изобретения

Радиолокационная антенна с уменьшенной эффективной площадью рассеяния, содержащая минимум один излучатель, работающий в заданной полосе рабочих частот, размещенные перед излучателем в одной плоскости устройства частотной селекции с полосовыми характеристиками, позволяющими пропускать электромагнитное излучение в полосе рабочих частот, а за пределами этой полосы отражать излучение, отличающаяся тем, что перед излучателями на расстоянии  $h$  размещен диэлектрический лист толщиной  $d$ , при этом численные значения величин  $h$  и  $d$  выбирают из соотношений

$$h = (2n - 1)\lambda / 4\sqrt{\epsilon - 1}, d \approx 0,03 \dots 0,07\lambda,$$

где  $n=1, 2, 3 \dots$ ;

$\lambda$  - средняя рабочая длина;

5  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость диэлектрического листа,  $\epsilon \approx 4 \dots 8$ .

10

15

20

25

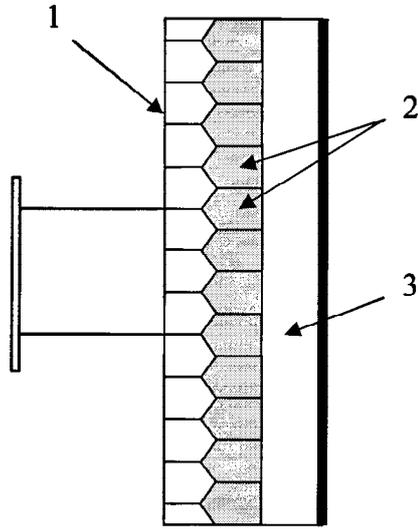
30

35

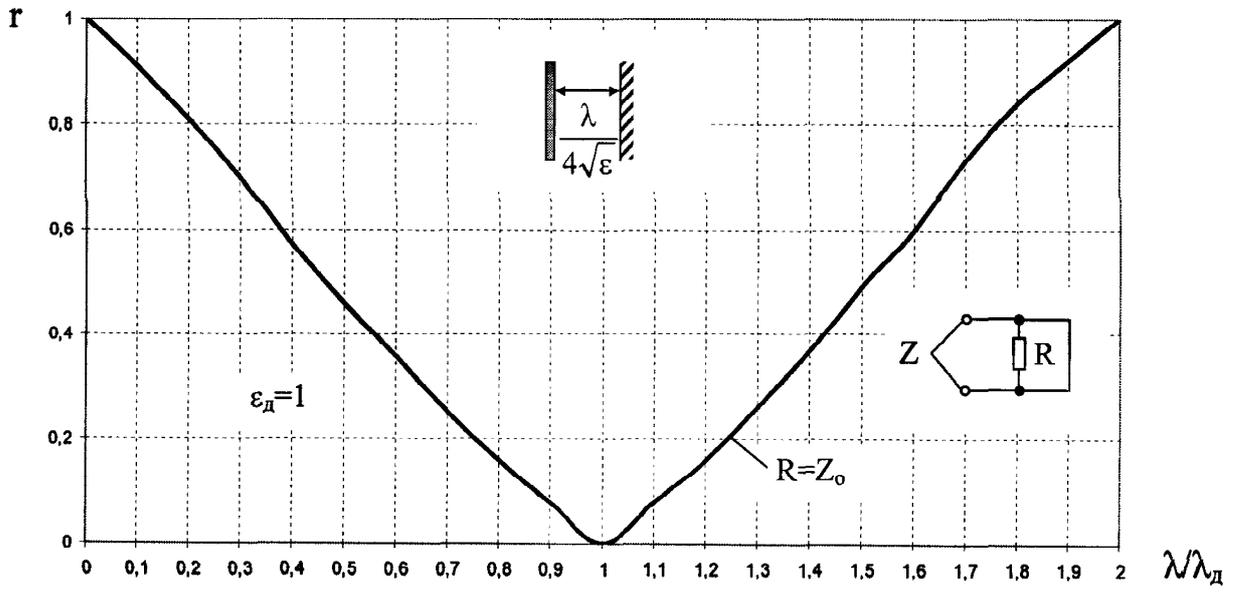
40

45

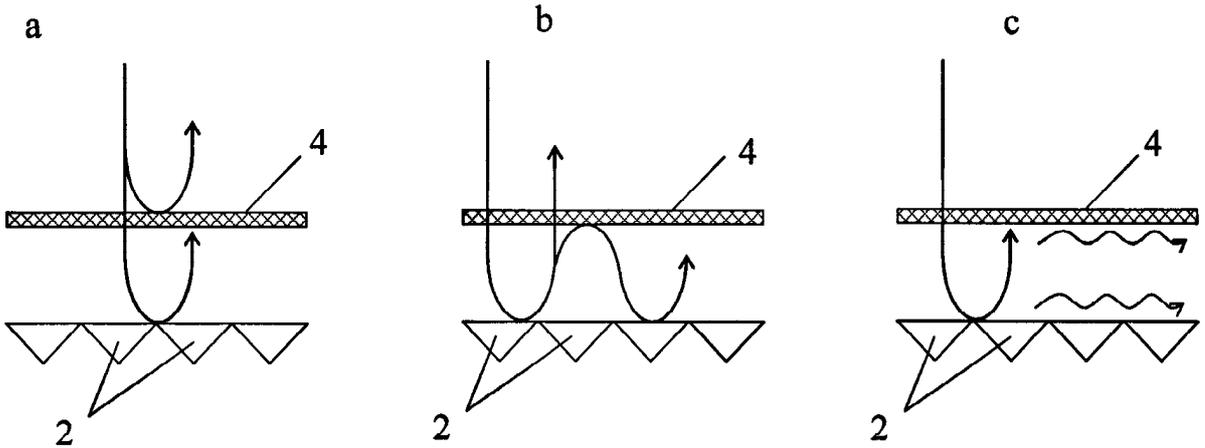
50



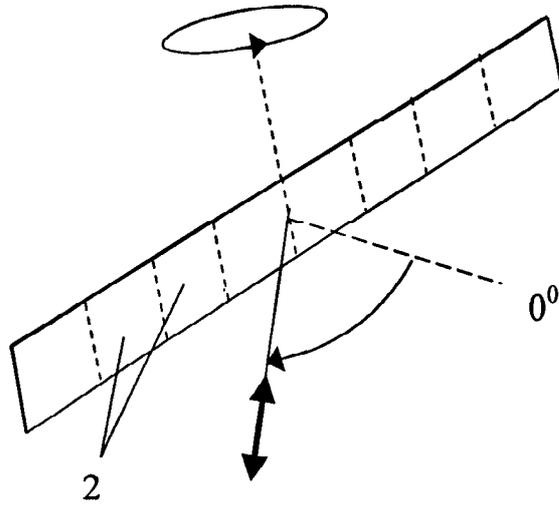
Фиг.1



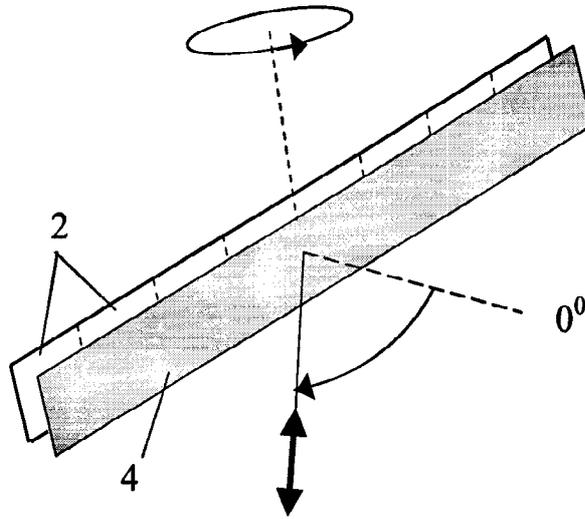
Фиг.3



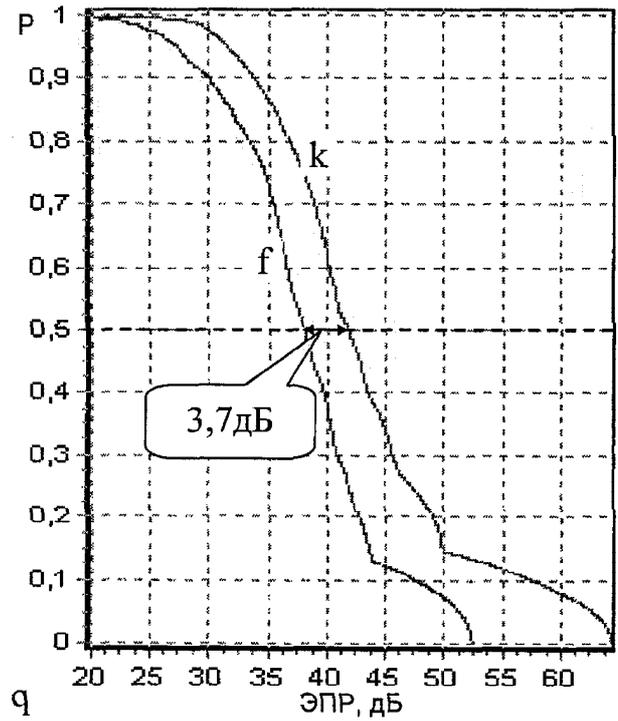
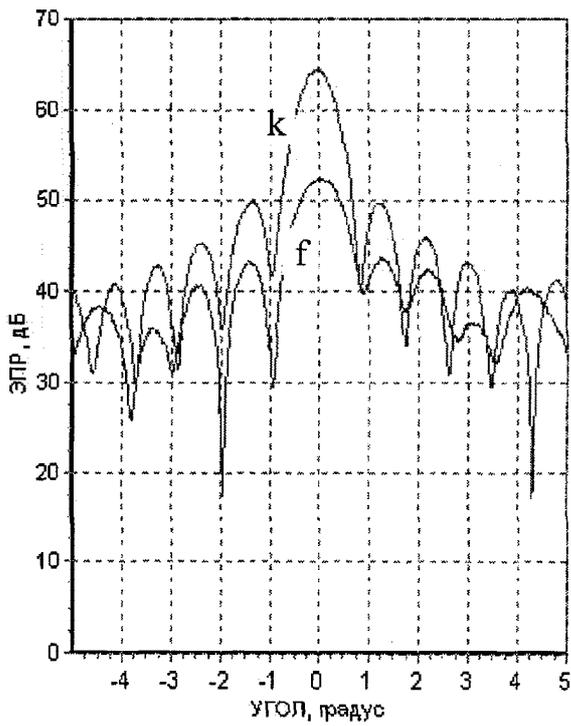
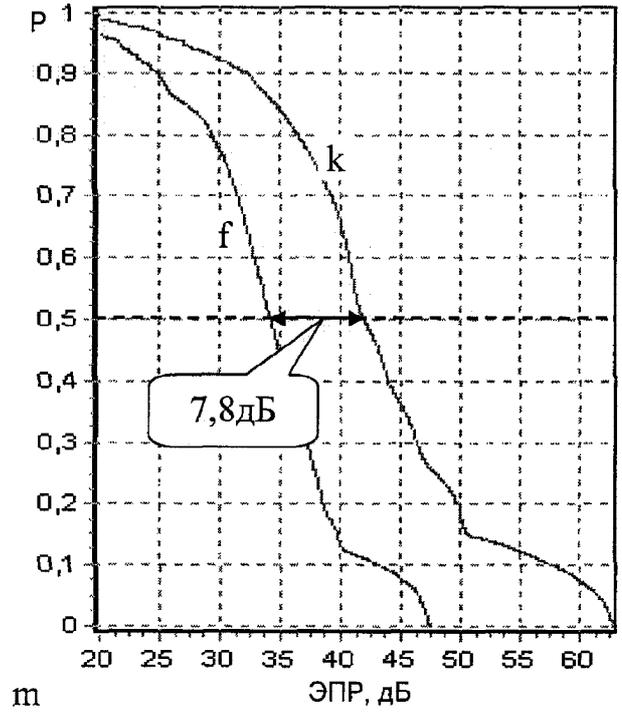
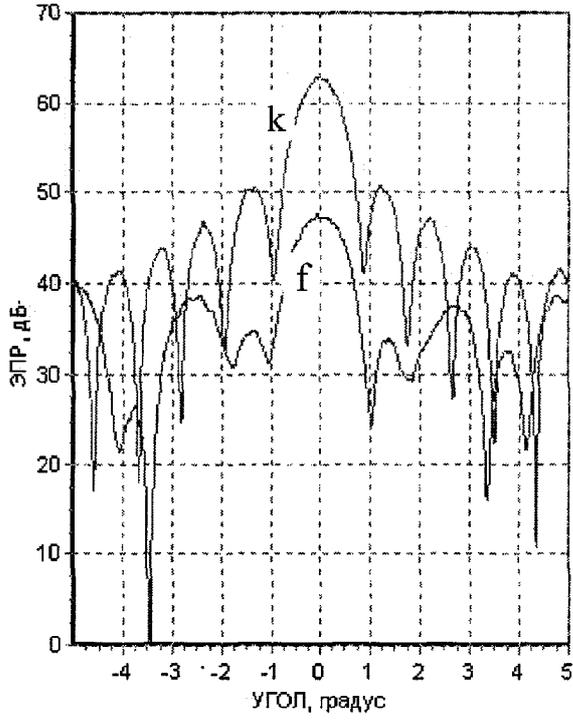
Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7