

И.М. Мыщенко, Ю.А. Педенко

Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины

12, ул. Акад. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: igor.mytsenko@gmail.com

Электромагнитная совместимость пассивного и активного каналов комплексированных радиолокационных систем

***Предмет и цель работы.** Работа посвящена проблеме повышения помехозащищенности приемного канала радиометра, входящего в состав комплексированной пассивно-активной радиолокационной системы (РЛС). Решение этой проблемы позволит улучшить обнаружение малоконтрастных радиолокационных целей на фоне отражений радиоволн от подстилающей поверхности суши или моря.*

***Методы и методология работы.** Исследование проводилось путем компьютерного моделирования с использованием эквивалентной схемы СВЧ-фильтров радиометра. Подавление отраженных от цели сигналов, которые являются помехами для приемного канала радиометра, осуществлялось за счет взвешенного суммирования радиометрических сигналов, прошедших через фильтры основного и зеркального каналов радиометра. При этом центральные частоты фильтров располагались симметрично относительно несущей частоты активной части РЛС, а комплексные коэффициенты передачи фильтров подбирались таким образом (операция взвешивания), чтобы на этой частоте обеспечивалась равенство их модулей одновременно с противоположностью фаз.*

***Результаты работы.** Исследование проводилось для частот 8-миллиметрового диапазона с использованием типичных параметров частотно-избирательных цепей. Основное внимание уделялось характеристикам прохождения полезного радиометрического сигнала и подавления зондирующего сигнала активной части РЛС при различных разностях центральных частот основного и зеркального каналов радиометра. Оценено влияние на те же характеристики отклонения параметров фильтров от расчетных значений.*

***Заключение.** Показано, что при разности центральных частот основного и зеркального фильтров радиометра, составляющей 3...4 ширины полосы пропускания этих фильтров, достигается глубокое подавление зондирующего сигнала на входе радиометра, сопровождаемое высоким уровнем пропускания полезного радиометрического сигнала. Установлено, что влияние отклонения параметров фильтров от расчетных значений при разности в 3...4 ширины полосы пропускания существенно ниже, чем при меньших разностях. Ил. 7. Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.*

Ключевые слова: пассивная радиолокация, активная радиолокация, радиометр, комплексирование, подавление помех.

В настоящее время практически исчерпаны возможности улучшения параметров радиотехнических систем. Радиолокационные системы (РЛС) не стали исключением. В мировой практике начали применять комплексированные методы, когда для улучшения технических возможностей и получения новых положительных качеств РЛС работают совместно с другими радиотехническими устройствами [1, 2]. Большое внимание уделяется радиометрическим контрастам целей в мм-диапазоне и прогнози-

рованию возможности пассивного их обнаружения, включая малоразмерные и малозаметные (технология *Stealth*). Поэтому применение радиометрических устройств совместно с активной РЛС (комплексирование) этого же диапазона является актуальным и дает целый ряд положительных качеств, которые описаны в литературе [1–3]. Например, совместная работа морских РЛС и радиометрических устройств позволяет улучшить различимость надводных объектов на фоне отражений от морской по-

верхности, так как они обладают различным тепловым контрастом. Кроме этого, могут обнаруживаться не только сами корабли, но и их кильватерные струи, температура которых на несколько градусов выше окружающей воды. Погруженные подлодки также оставляют за собой термический след, существующий на протяжении нескольких часов. Очень эффективен радиометр для ледовой разведки. Так, когда активная РЛС не обнаруживает ледовую преграду из-за плохого отражения от нее зондирующих сигналов, радиометрическое устройство уверенно распознает ее.

При создании комплексированных РЛС наиболее сложной задачей является обеспечение электромагнитной совместимости каналов приемопередатчика активной РЛС и радиометрического канала при работе с общей антенной. Этот вариант построения пассивно-активных РЛС (комплексированных) наиболее подходит для решения поставленных задач. Однако необходимый уровень развязки между пассивным и активным приемными каналами должен составлять не менее 140 дБ, что является довольно трудной задачей [4].

Известны пассивно-активные РЛС, в которых реализована электромагнитная совместимость приемопередающих и радиометрических устройств при работе с общей антенной [5–7]. Указанные РЛС имеют некоторые отличия в построении функциональных схем и работают следующим образом. Период модуляции радиометра совпадает с периодом следования зондирующих импульсов. Во время излучения зондирующего импульса и приема отраженных сигналов вход модуляционного радиометра отключают от системы и подключают его к согласованной нагрузке, которая служит эталонным генератором шума (абсолютно черное тело). Во временном интервале, когда наступает предел дальности действия, и до следующего зондирующего импульса на модулятор подается сигнал, который его открывает и подключает антенну к входу радиометра. Таким образом осуществляется временное разделение сигналов приемопередатчика и радиометрического устройства.

Известны также пассивно-активные РЛС [4], в которых с целью обеспечения дополнительной развязки используется достаточно существ-

венное разнесение частот приемопередающего канала активной РЛС и радиометрического устройства. Это осуществляется применением усилителей промежуточной частоты со специальными характеристиками: полоса пропускания активного канала, работающего на центральной частоте f_0 , должна удовлетворять условию $\Delta f_0 \approx 1/\tau$, где τ – длительность зондирующего импульса. Для усилителя пассивного канала (радиометра) центральная частота f_{res} и полоса пропускания Δf_{res} выбираются из условия $f_{res} - \Delta f_{res} / 2 \gg f_0 - \Delta f_0 / 2$ [4].

К достоинствам таких схем следует отнести высокую степень развязки радиометра и РЛС при относительно простой реализации. Однако большие потери в волноводных трактах, соединяющих антенну с входом приемника, приводят к падению чувствительности радиометра. Кроме этого, вследствие уменьшения временного интервала для приема отраженных от цели импульсов сокращается область определения дальности, а при определенных условиях распространения радиоволн могут появиться помехи от целей в полупериод работы радиометра.

В радиометрических системах специального назначения, когда время их работы ограничено, потеря информации о целях даже на очень коротких промежутках времени недопустима, поэтому временное разделение каналов в таких системах неприемлемо. В связи с этим вопрос электромагнитной совместимости при создании пассивно-активных РЛС по-прежнему остается актуальным и ждет своего решения.

Целью данной работы является разработка метода и устройства, пригодных для практической реализации, обеспечивающих электромагнитную совместимость пассивного и активного каналов при одновременной работе на одну антенну в комплексированных РЛС.

1. Реализация совместимости пассивного и активного каналов. Для электромагнитной совместимости пассивного и активного каналов при их одновременной работе необходимо подавить отраженные от цели сигналы, которые попадают на вход радиометрического канала. В предлагаемом методе используется частотная селекция пассивного и активного каналов с разделением их на некоторую частоту, величина которой выбирается из условий

получения максимально возможного подавления отраженных от цели сигналов на входе радиометра и минимального влияния на результат определения параметров цели РЛС в целом. Сигнал зеркального канала радиометра не подавляется, а суммируется с сигналом основного канала радиометра, что дает возможность увеличить уровень радиоярких шумов [8, 9]. Несущая частота приемопередатчика выбирается отличной от частоты радиометра на величину его полосы пропускания Δf_{res} . Таким образом, частоты основного и зеркального каналов радиометра отстоят от несущей частоты f_0 на величину Δf_{res} и равны соответственно $f_{res} = f_0 - \Delta f_{res}$ и $f_{mir} = f_0 + \Delta f_{res}$. Это дает возможность селективировать частоты пассивного и активного каналов и подавить отраженные от цели сигналы на входе радиометра. Однако при отсутствии временного разделения каналов подавления отраженных сигналов на частоте f_0 только путем фильтрации явно недостаточно. Поэтому в предлагаемом методе в качестве входных фильтров на входе радиометра применяются два резонатора-фильтра с заданной полосой пропускания, настроенные соответственно на частоту основного канала радиометра и на частоту зеркального канала. Сигналы, поступающие с выхода каждого из резонаторов-фильтров, суммируются и подаются на вход радиометра. Для того чтобы на частоте f_0 при суммировании получить абсолютное подавление отраженных от цели сигналов, необходимо выполнить следующие условия:

- коэффициенты передачи по амплитуде обоих резонаторов-фильтров должны быть равны;
- угол сдвига фаз Δf_0 между сигналами на частоте f_0 , прошедшими резонаторы-фильтры, должен быть близким к 180° .

2. Методика проведения экспериментов.

Исследование проводилось путем компьютерного моделирования и решало две задачи. Первая задача состояла в определении разносов центральных частот фильтров-резонаторов основного и зеркального каналов радиометра, при которых реализуются требуемые амплитудно-частотные характеристики его избирательных цепей. Вторая задача состояла в изучении влияния отклонения параметров резонаторов-фильтров от идеальных на степень подавления зондирующего сигнала на входе радиометра.

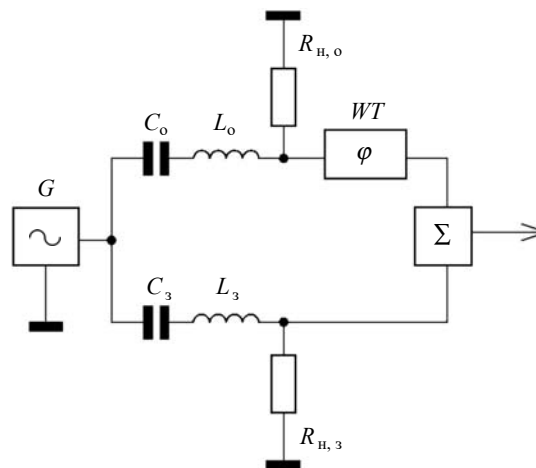


Рис. 1. Эквивалентная схема исследуемого устройства

Для решения этих задач была предложена эквивалентная схема устройства, реализующего предлагаемый метод подавления зондирующего сигнала (рис. 1).

Схема содержит генератор синусоидальных сигналов G с нулевым внутренним сопротивлением, амплитуда сигнала – 1 В. Генератор можно перестраивать в широком диапазоне частот, при этом центральная частота несущей f_0 выбрана равной 37 МГц, что связано с широким применением этого диапазона в действующих комплексированных РЛС [8, 9].

Эквивалентами резонаторов-фильтров служат два последовательных контура, $L_{main}C_{main}$ и $L_{mir}C_{mir}$, настроенные симметрично относительно центральной частоты f_0 (индексы «main» и «mir» относятся, соответственно, к основному и зеркальному каналам радиометра). Резонаторы-фильтры нагружены на одинаковые сопротивления $R_{load,main} = R_{load,mir} = R_{load}$. Полоса пропускания каждого из резонаторов-фильтров $\Delta f_{res} = 1$ ГГц.

Фазовращатель WT , включенный на выходе одного из контуров, позволяет на центральной частоте f_0 изменять угол сдвига фаз между сигналами каждого из контуров.

К выходам резонаторов подключен сумматор, который служит для сложения сигналов, поступающих с выхода каждого из контуров.

Разнос между частотами настройки резонаторов-фильтров f_{main} и f_{mir} задавался равным $\Delta f = n\Delta f_{res}$, где $n = 1, 2, 3$ и 4.

3. Амплитудно- и фазочастотные характеристики суммарных фильтров при различных разносах частот. На рис. 2–5 приве-

дены характеристики фильтров, полученные при различных разносах резонансных частот фильтров основного и зеркального каналов радиометра. На них использованы обозначения, которые позволяют отождествить принадлежность каждой кривой к тому или иному фильтру: $-\cdot-\cdot-\cdot-$ – фильтр основного канала радиометра, $-----$ – фильтр зеркального канала радиометра, $\cdots\cdots\cdots$ – суммарный фильтр без коррекции фаз и амплитуд, $————$ – суммарный фильтр с коррекцией фаз и амплитуд.

Рассмотрим эти характеристики. Отметим, что первое условие (равенство амплитуд), сформулированное в разд. 1, выполняется, когда разнос между резонансными частотами фильтров радиометра $\Delta f = \Delta f_{res} = 1$ ГГц (рис. 2). Здесь коэффициент передачи обоих фильтров на частоте f_0 одинаков и составляет $\sqrt{2}/2 \approx 0,707$. При увеличении разноса равенство незначительно смещается в область более высоких частот. Это обусловлено тем, что при одинаковых полосах пропускания, определенных на уровне 0,707, фильтр зеркального канала радиометра имеет несколько более высокую добротность, чем фильтр основного канала.

Для выравнивания коэффициентов передачи при $\Delta f > \Delta f_{res}$ перед суммированием сигналов выполнялось умножение амплитуды сигнала зеркального канала на коэффициент k . Значения коэффициента для различных разносов частот приведены в табл. 1.

Что касается фазовых соотношений в фильтрах, то при разноте частот $\Delta f = \Delta f_{res}$ разность фаз коэффициентов передачи составляет 90° (рис. 2, б); этого недостаточно для подавления сигнала на центральной частоте. Здесь наблюдается лишь незначительное уменьшение коэффициента передачи, составляющее, как видно на рис. 2, а (пунктирная кривая), около 20 % относительно его максимума. Для пол-

Таблица 1. Значения коэффициентов k для зеркального канала радиометра

n	1	2	3	4
k	1	1,022	1,037	1,052

Таблица 2. Относительное ослабление мощности принимаемого теплового излучения, дБ

n	1	2	3	4
Q_n / Q_4	-2,78	-0,70	-0,17	0,00

ного подавления сигнала на частоте f_0 необходимо внести дополнительный сдвиг фазы сигнала $\Delta\varphi = 90^\circ$, поступающего с фильтра основного канала. Однако введение дополнительного сдвига сопровождается недопустимо большим уменьшением коэффициента передачи на боковых ветвях суммарного фильтра (рис. 2, а, сплошная кривая). При дальнейшем увеличении разноса частот разность фаз коэффициентов передачи фильтров зеркального и основного каналов возрастает. Так, при $\Delta f = 4\Delta f_{res}$ она достигает 152° (см. расстояние между штриховыми кривыми на рис. 5, б, на частоте 37 ГГц). Это приводит к значительному ослаблению сигнала на центральной частоте, составляющему почти 20 дБ, даже без дополнительного сдвига фаз. На практике в некоторых случаях такое ослабление приемлемо. Однако для полного подавления требуется дополнительный сдвиг на выходе фильтра основного канала около 28° . Отметим, что в данном случае этот дополнительный сдвиг не приводит к существенному уменьшению коэффициента передачи суммарного фильтра в зоне его максимумов.

Оценим влияние разноса частот основного и зеркального каналов на уровень мощности, принимаемой радиометром. Для этого воспользуемся коэффициентом Q_n , пропорциональным этой мощности (предполагаем постоянство спектральной плотности теплового излучения цели в рабочей полосе частот), определенным в виде:

$$Q_n = \int_{f_{min}}^{f_{max}} (A_n(f))^2 df,$$

где $[f_{min}; f_{max}]$ – интервал частот, в котором принимается основная часть мощности теплового излучения; $A_n(f)$ – амплитудно-частотная характеристика суммарного фильтра при разноте $\Delta f = n\Delta f_{res}$. В наших расчетах используем $f_{min} = 33$ ГГц, а $f_{max} = 41$ ГГц.

Сравнив коэффициенты Q_n с коэффициентом Q_4 , рассчитанным для максимального использованного разноса, получим значения ослабления принятого теплового излучения, которые приведены в табл. 2.

На основании данных, приведенных в табл. 2 и на рис. 2–5, можно сделать следующий вывод:

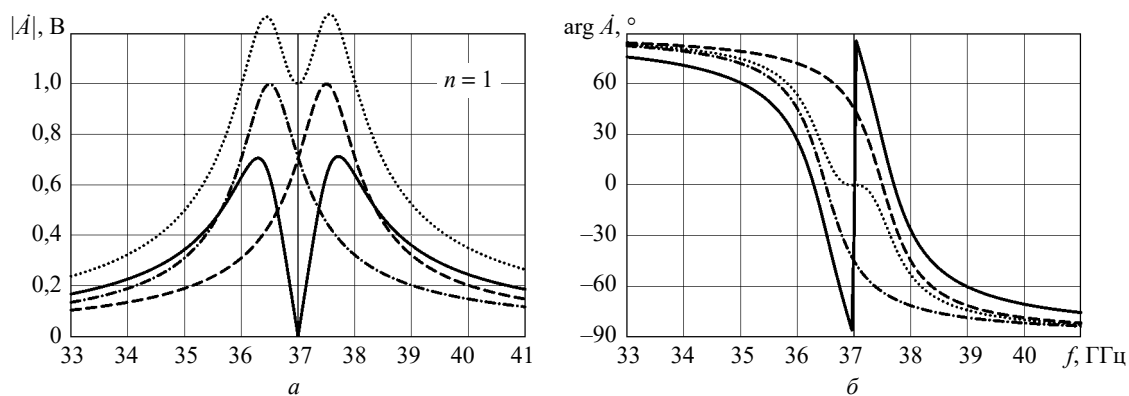


Рис. 2. Амплитудные (а) и фазовые (б) характеристики фильтров ($\Delta f = \Delta f_{res} = 1$ ГГц)

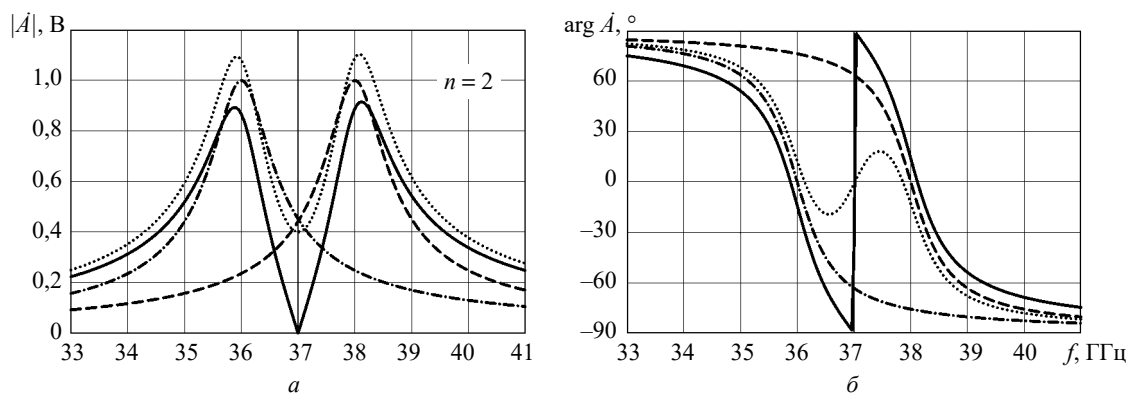


Рис. 3. Амплитудные (а) и фазовые (б) характеристики фильтров ($\Delta f = 2\Delta f_{res} = 2$ ГГц)

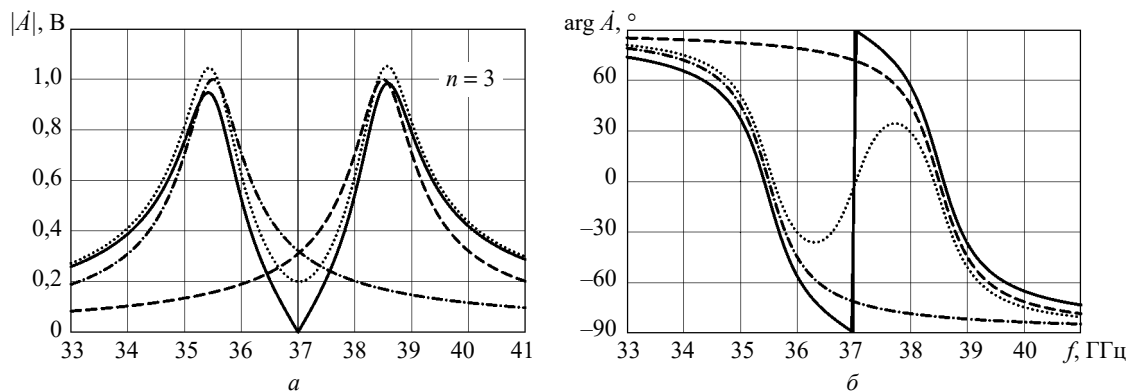


Рис. 4. Амплитудные (а) и фазовые (б) характеристики фильтров ($\Delta f = 3\Delta f_{res} = 3$ ГГц)

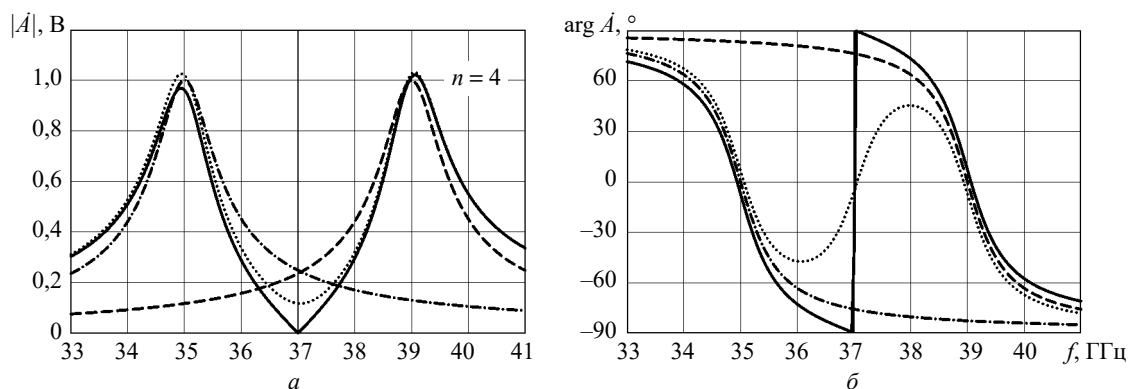


Рис. 5. Амплитудные (а) и фазовые (б) характеристики фильтров ($\Delta f = 4\Delta f_{res} = 4$ ГГц)

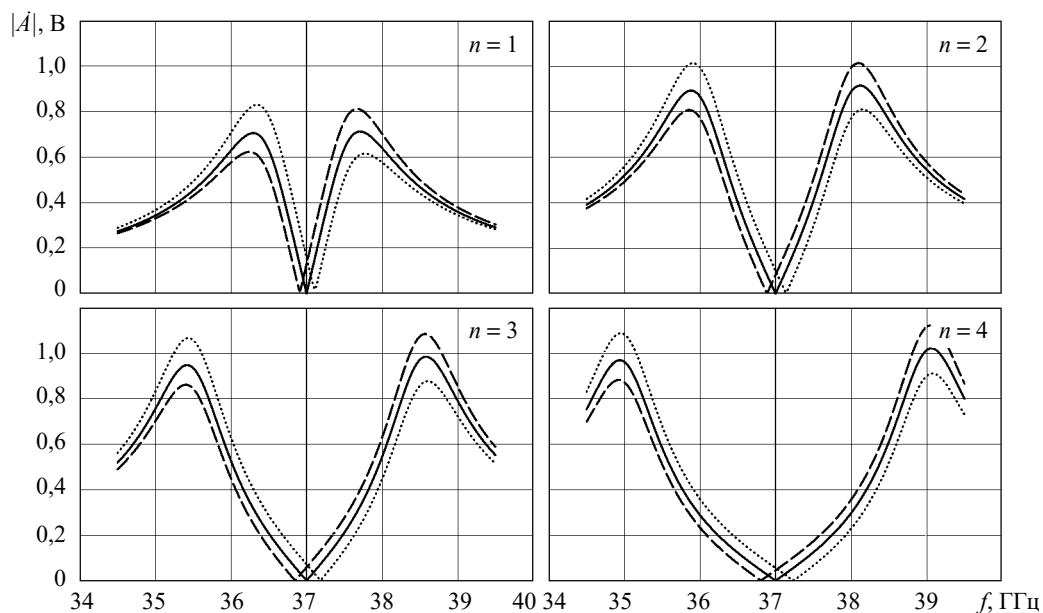


Рис. 6. Амплитудные характеристики суммарных фильтров при различных отношениях коэффициентов передачи: $k_{mir} / k_{main} = 0,8$; — $k_{mir} / k_{main} = 1,0$ (отсутствие дестабилизирующих факторов); --- $k_{mir} / k_{main} = 1,2$

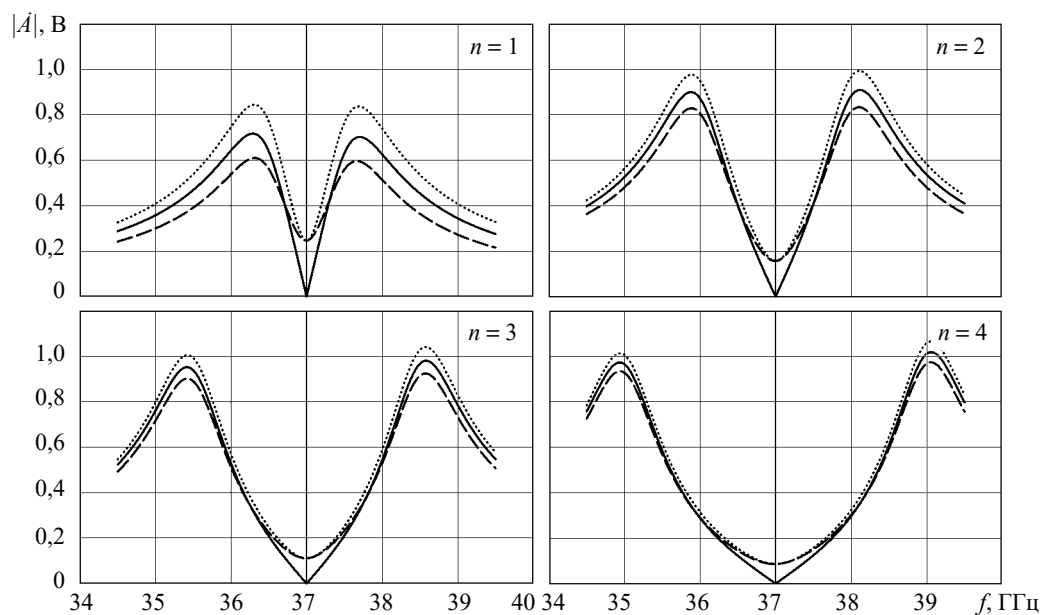


Рис. 7. Амплитудные характеристики суммарных фильтров при наличии фазовых ошибок: $\Delta\varphi = -20^\circ$; — $\Delta\varphi = 0^\circ$ (идеальные фильтры); --- $\Delta\varphi = 20^\circ$

разнос частот $3...4 \Delta f_{res}$ можно считать наиболее приемлемым для решения поставленной задачи, так как при нем глубокое подавление зондирующего сигнала на входе радиометра сочетается с близкой к максимальной передачей сигнала теплового излучения цели. Действительно, использование разносов меньших чем $3...4 \Delta f_{res}$ приводит к существенному подавлению полезного сигнала на входе радио-

метра, а более значительных – нецелесообразно, так как при них полезный сигнал практически не растет.

4. Влияние погрешностей амплитудных и фазовых характеристик фильтров основного и зеркального каналов радиометра на характеристики суммарных фильтров. Приведенные в разд. 3 характеристики суммарных фильтров получены при использовании значе-

ний параметров фильтров основного и зеркального каналов, соответствующих расчетным. На практике это соответствие в той или иной степени нарушается. Причинами могут быть технологические, метеорологические и другие дестабилизирующие факторы. В результате изменяются резонансные частоты фильтров, искажаются амплитудно-частотные характеристики фильтров и др., что приводит к отклонению характеристик суммарного фильтра от заданных.

На рис. 6 показаны примеры таких характеристик, полученных при неидентичных коэффициентах передачи фильтров основного и зеркального каналов. На каждом графике представлено по три амплитудных характеристики, полученных как при одинаковых коэффициентах передачи, так и при отношениях коэффициентов передачи, равных 0,8 и 1,2. Из графиков следует, что неидентичность коэффициентов приводит как к перекосу амплитудных характеристик суммарных фильтров, так и сдвигу точки максимального подавления вдоль оси частот в ту или иную сторону относительно f_0 . Вследствие этого сдвига происходит «пролаз» зондирующего сигнала активной части РЛС на вход радиометра на этой частоте. Уровень «пролаза» зависит как от исходного разнеса резонансных частот фильтров, так и от степени отличия коэффициентов передачи фильтров. При одинаковом отношении коэффициентов передачи смещение тем значительнее, чем больше разнос резонансных частот фильтров основного и зеркального каналов радиометра. Однако подавление зондирующего сигнала на центральной частоте при больших разносах все же больше, чем при малых, благодаря еще большему падению крутизны амплитудных характеристик суммарного фильтра вблизи центральной частоты f_0 .

Рассмотрим влияние на характеристики фильтров фазовых ошибок в линиях передачи основного и зеркального каналов. Для выяснения влияния этих ошибок на характеристики суммарного фильтра было выполнено моделирование при внесении дополнительного сдвига фазы между сигналами этих каналов. Он задавался равным -20 , -10 , 0 , 10 и 20° .

На рис. 7 представлены амплитудные характеристики суммарных фильтров для дополнительных сдвигов -20 и 20° при различных раз-

носах резонансных частот фильтров. На них же приведены и характеристики идеальных фильтров. Из графиков следует, что дополнительные фазовые сдвиги не перемещают точку максимального подавления суммарных фильтров по оси частот, однако приводят к появлению «пролазов» зондирующего сигнала, величина которых не зависит от знака сдвига фазы. Однако видно, что увеличение сдвига фазы ($\Delta\varphi = 20^\circ$) приводит к ослаблению сигнала в боковых полосах суммарного фильтра, а уменьшение ($\Delta\varphi = -20^\circ$) – к увеличению, что более предпочтительно. Особенно сильно эти отрицательные явления проявляются при небольших разносах частот.

Из графиков на рис. 7 следует, что с ростом разнеса частот влияние сдвигов фазы в каналах уменьшается.

Выводы. Предложены метод и устройство подавления помех на входе радиометра, входящего в состав комплексированной активно-пассивной РЛС. Помеха, представляющая собой отраженные от цели сигналы активной части РЛС, подавляется за счет взвешенного суммирования радиометрических сигналов, прошедших через фильтры основного и зеркального каналов радиометра. При этом центральные частоты фильтров располагаются симметрично относительно несущей частоты активной части РЛС, а комплексные коэффициенты передачи фильтров подбираются таким образом (операция взвешивания), чтобы на этой частоте обеспечивалось равенство их модулей, но противоположность фаз.

Основное внимание уделялось характеристикам прохождения полезного радиометрического сигнала и подавления помехи, создаваемой отраженными от цели сигналами активной части РЛС при различных разносах центральных частот основного и зеркального каналов радиометра.

Показано, что оптимальный разнос центральных частот основного и зеркального фильтров радиометра, при котором подавление помехи сопровождается высоким уровнем приема радиометрического сигнала, составляет 3...4 ширины полосы пропускания этих фильтров. При этом подавление помехи – отраженных от цели сигналов – существенно больше, чем требуемые 140 дБ.

Оценено влияние на те же характеристики отклонения параметров фильтров от расчетных значений.

Установлено, что при указанных выше разностях, составляющих 3...4 ширины полосы про-

пускания фильтров, влияние отклонения параметров фильтров от расчетных значений существенно ниже, чем при меньших разностях центральных частот основного и зеркального каналов радиометра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быстров Р.П., Гуляев Ю.В., Черепинин В.А., Соколов А.В. Особенности развития радиолокационных систем. *Радиотехника*. 2010. № 9. С. 71–90.
2. Акимов В.Ф., Блинов В.В., Батяшин Е.В., Березин Ю.В. *Вопросы перспективной радиолокации*. Москва: Радиотехника, 2003. 512 с.
3. Николаев А.Г., Перцов С.В. *Радиотеплокация (пассивная радиолокация)*. Под ред. А.А. Красовского. Москва: Сов. радио, 1964. 335 с.
4. Щукин Г.Г., Булкин В.В. Метеорологическая активно-пассивная радиолокация. *Радиотехника и электроника*. 2011. Т. 56, № 5. С. 549–572.
5. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. *Радиотеплокация в метеорологии*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 127 с.
6. Гинеотис С.П., Фалин В.В., Костров В.В., Булкин В.В. Метеорологический пассивно-активный комплекс. *Радиометеорология: Труды VII Всесоюзного совещания*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. С. 122–124.
7. Метеорологические радиолокационные системы: пат. 2084922 Российская федерация: МПКG 01 S 13/95 / В.В. Фалин, В.В. Чекушкин, С.В. Чекушкин. Заявл. 08.04.1991; опубли. 20.07.1997, Бюл. № 20.
8. Войтович О.А., Линкова А.М., Могыла А.А., Мальцев В.П., Руднев Г.А., Хлопов Г.И., Грибский О.П., Маковенко С.В., Мальцев С.Б., Павленко С.В., Миронюк В.Д. Многофункциональный сканирующий радиометр Ка диапазона с аддитивно-шумовым пилотсигналом. *Радиотехника: межвед. науч.-техн. сб. ХНУРЭ*. Харьков, 2019. Вып. 197. С. 5–15.
9. Mogyla A.A., Mytsenko I.M., Voytovich O.A., Khomenko S.I. Building a passive-active radio-meteorological measuring system based on dual-frequency radar. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2019. Vol. 78, Iss. 15. P. 1355–1367.

Стаття надійшла 29.01.2020

REFERENCES

1. Bystrov, R.P., Gulyaev, Yu.V., Cherepenin, V.A., Sokolov, A.V., 2010. Features of radar systems development. *Radiotekhnika*, 9, pp. 71–90 (in Russian).
2. Akimov, V.F., Blinov, V.V., Batiashin, E.V., Berezin, Yu.V., 2003. *Advanced radar questions*. Moscow: Radiotekhnika Publ. (in Russian).
3. Nikolaev, A.G., Pertsov, S.V., 1964. *Thermal radiolocation*. Ed. by A.A. Krasovskiy. Moscow: Sovetskoe radio Publ. (in Russian).
4. Shchukin, G.G., Bulkin, V.V., 2011. Meteorological active-passive radar. *Radiotekhnika i elektronika*, 56(5), pp. 549–572 (in Russian).
5. Stepanenko, V.D., Shchukin, G.G., Bobylev, L.P., Matrosov, S.Yu., 1987. *Thermal radiolocation in meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russian).
6. Gineotits, S.P., Falin, V.V., Kostrov, V.V., Bulkin, V.V., 1989. Meteorological passive-active system. In: *Radiometeorology: Proc. VII All-union conference*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ. (in Russian)
7. Falin, V.V., ChEkushkin, V.V., ChEkushkin, S.V., 1997. *Meteorological radar system*. Russian Federation. Pat. 2084922 (in Russian).
8. Voytovich, O.A., Linkova, A.M., Mogyla, A.A., Maltsev, V.P., Rudnev, G.A., Khlopov, G.I., Gribskii, O.P., Makovenko, S.V., Maltsev, S.B., Pavlenko, S.V., Mironiuk, V.D., 2019. Multifunctional scanning Ka-band radiometer with an additive noise pilot signal. In: *Radiotekhnika*. Kharkov: NURE Publ. 197, pp. 5–15 (in Russian).
9. Mogyla, A.A., Mytsenko, I.M., Voytovich, O.A., Khomenko, S.I., 2019. Building a passive-active radio-meteorological measuring system based on dual-frequency radar. *Telecommunications and Radio Engineering*, 78(15), pp. 1355–1367.

Received 29.01.2020

I.M. Mytsenko, Yu.A. Pedenko

O.Ya. Usikov IRE of NASU
12, Acad. Proskury St., Kharkov, 61085, Ukraine

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF PASSIVE AND ACTIVE CHANNELS OF INTEGRATION RADAR SYSTEMS

Subject and purpose. The paper is devoted to the noise immunity problem of the receiving channel of the radiometer as part of an integration passive-active radar system. The aim is to improve the detection of low-contrast radar targets against the background of radio wave reflections from the underlying land or sea.

Methods and methodology. The study was carried out by computer simulation using the equivalent circuit of the radiometer microwave filters. The suppression of target reflected signals interfering in the radiometer receiving channel was by means of the weighted summation of radiometric signals having passed through the filters of the main and mirror channels of the radiometer. In that case, the center frequencies of the filters were symmetric about the carrier frequency of the radar active part, and the complex transmittances of the filters were picked so (the weighting procedure) that they had equal moduli and opposite phases at that frequency.

Results. The research was conducted at the 8 mm band frequencies for typical parameters of frequency-selective circuits. The focus was on the transmission characteristics of the useful radiometric signal and on the suppression of the probing signal of the radar active part, various values of the center frequency spacing of the main and mirror channels of the radiometer were considered. Effects exerted on the above-mentioned characteristics by deviations of actual parameters of the filters from their design values were estimated.

Conclusion. It has been shown that a deep suppression of the probe signal at the radiometer input can be achieved along with a simultaneous high transmission level of the useful radiometric signal provided that the center frequency spacing regarding the main and mirror filters of the radiometer makes up 3...4 bandwidths of these filters. When the center frequency spacing measures 3...4 values of the filter bandwidth, the effect exerted by the deviation of actual filter parameters from their design values is found to be substantially less than for a smaller spacing.

Key words: passive radar, active radar, radiometer, integration, interference suppression.

I.M. Миценко, Ю.О. Педенко

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України
12, вул. Акад. Проскури, Харків, 61085, Україна

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ПАСИВНОГО І АКТИВНОГО КАНАЛІВ КОМПЛЕКСОВАНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Предмет і мета роботи. Роботу присвячено проблемі підвищення заводо захищеності приймального каналу радіометра, що входить до складу комплексованої пасивно-активної радіолокаційної системи (РЛС). Вирішення цієї проблеми дозволить поліпшити виявлення мало-контрастних радіолокаційних цілей на фоні відбиттів радіохвиль від підстильної поверхні суші або моря.

Методи і методологія роботи. Дослідження проводилося шляхом комп'ютерного моделювання з використанням еквівалентної схеми НВЧ-фільтрів радіометра. Придушення відбитих від цілі сигналів, які є завадами для приймального каналу радіометра, здійснювалося за рахунок зваженого підсумовування радіометричних сигналів, які пройшли через фільтри основного і дзеркального каналів радіометра. Центральні частоти фільтрів розташовувалися симетрично щодо носівної частоти активної частини РЛС, а комплексні коефіцієнти передачі фільтрів обиралися таким чином (операція зважування), щоб на цій частоті забезпечувалася рівність їх модулів водночас із протилежністю фаз.

Результати роботи. Дослідження здійснювалося для частот 8-міліметрового діапазону з використанням типових параметрів частотно-селективних кіл. Основна увага приділялася характеристикам проходження корисного радіометричного сигналу і придушення зондувального сигналу активної частини РЛС при різних рознесеннях центральних частот основного і дзеркального каналів радіометра. Оцінено вплив на ті ж самі характеристики відхилення параметрів фільтрів від розрахункових значень.

Висновок. Показано, що при рознесенні центральних частот основного і дзеркального фільтрів радіометра, яке становить 3...4 ширини смуги пропускання цих фільтрів, досягається глибоке придушення зондувального сигналу на вході радіометра, супроводжуване високим рівнем пропускання корисного радіометричного сигналу. Встановлено, що вплив відхилення параметрів фільтрів від розрахункових значень при рознесеннях в 3...4 ширини смуги пропускання істотно нижчий, ніж при менших рознесеннях.

Ключові слова: пасивна радіолокація, активна радіолокація, радіометр, комплексування, усунення завод.