



(19) RU (11) 2141730 (13) С1
 (51) 6 Н 04 L 27/14

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
 ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

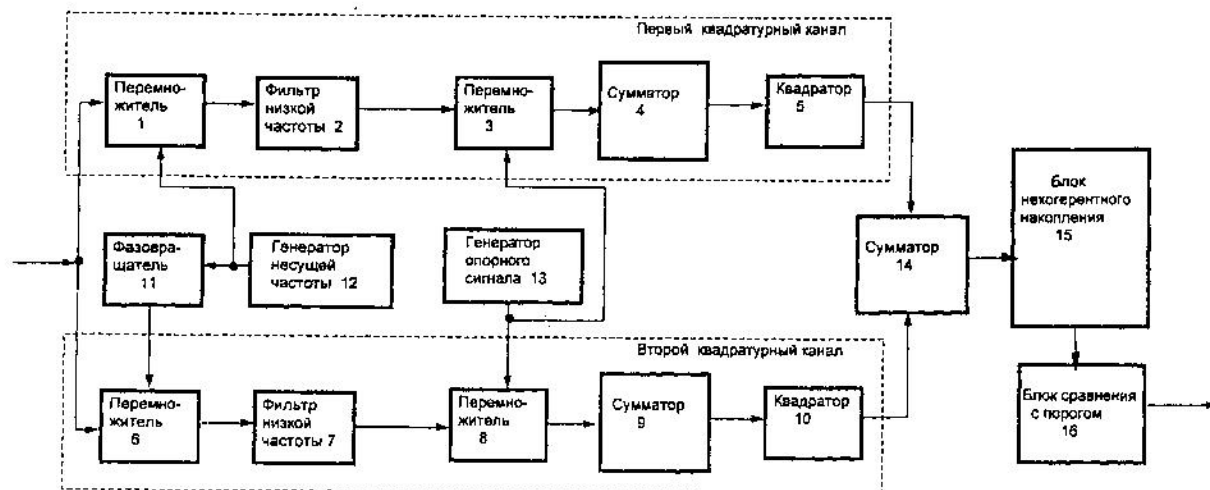
(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**
 к патенту Российской Федерации

1

(21) 98118418/09 (22) 08.10.98
 (24) 08.10.98
 (46) 20.11.99 Бюл. № 32
 (72) Гармонов А.В., Карпитский Ю.Е.,
 Кравцова Г.С., Усачев В.М., Шукин Н.И.
 (71) (73) Закрытое акционерное общество
 "Кодофон"
 (56) VITERBI A.J. CDMA: principles of
 spread spectrum communication, 1995, p.41,
 fig. 3.1(a) Варакин Л.Е. Системы связи с
 шумоподобными сигналами.-М.: Радио и
 связь, 1985, с. 292-294. RU 94009058 А1,
 27.12.95.
 (98) 394062, Воронеж, б-р Фестивальный, 8,
 Фурсова Вера Анатольевна
 (54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ШИРОКО-
 ПОЛОСНОГО СИГНАЛА С НЕИЗВЕСТ-
 НОЙ ЧАСТОТОЙ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ
 ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ (ВАРИАНТЫ)
 (57) В способе обнаружения широкополосно-
 го сигнала с неизвестной несущей частотой

2

вместо некогерентного накопления проводят корреляцию результатов обработки сигнала на последовательных смежных интервалах квазикогерентности сигнала с набором последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов, формируя набор комплексных коэффициентов корреляции. Из модулей полученного набора комплексных коэффициентов корреляции выбирают максимальный, который используют в качестве выходной величины. При этом результат корреляции с комплексным гармоническим сигналом, наиболее близким по частоте к входному демодулированному сигналу, приближается к результату когерентной обработки сигнала на всем интервале обнаружения. Поэтому более эффективно подавляется шумовая компонента. Для реализации способа разработаны два варианта устройства. Устройство обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой



Фиг. 1 (прототип)

RU 2141730 C1

RU 2141730 C1

содержит два квадратурных канала обработки принимаемого сигнала, каждый из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель, фильтр низкой частоты, второй перемножитель и сумматор, фазовращатель, генератор несущей частоты, генератор опорного сигнала и блок сравнения с порогом. Дополнительно в устройство выведены формирователь последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигнала-

лов, блок формирования комплексных коэффициентов корреляции, блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции и блок выбора максимума. Различаются устройства вариантами выполнения блока формирования комплексных коэффициентов корреляции. Технический результат заключается в повышении эффективности обнаружения сигнала с неизвестной несущей частотой. 3 с.п.ф-лы, 7 ил.

Изобретение относится к области радиотехники, в частности к способам и устройствам обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой, и используется в системах радиолокации, радионавигации и радиосвязи, в том числе в системах сотовой радиосвязи с кодовым разделением каналов.

Задача обнаружения сигнала с неизвестной частотой является особенно актуальной в системах радиосвязи с подвижными станциями, а также спутниковых системах радиосвязи, где значительная неопределенность частоты обусловлена большой величиной доплеровского смещения частоты [1, В.В. Лосев, Е.Б. Бродская, В.И. Коржик. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов. Москва. "Радио и связь". 1988 г., стр. 10].

Существуют различные способы решения этой проблемы.

Во-первых, это способы устранения частотной неопределенности, например способы, которые предусматривают последовательный поиск по частоте или обнаружение сигнала с одновременным получением оценки частоты [2, В.И. Тихонов. Оптимальный прием сигналов, М.- "Радио и связь". 1983 г., стр. 199].

Во-вторых, это способы обнаружения сигнала, инвариантные к частоте обнаруживаемого сигнала, при которых частотная полоса устройства обнаружения сигнала расширяется с целью перекрытия интервала неопределенности частоты входного сигнала.

Способы последовательного поиска по частоте требуют значительного времени обнаружения, которое пропорционально величине неопределенности частоты. В системах связи с широкополосными сигналами, как правило, необходим еще и поиск по временной задержке. В этих условиях общее время поиска и обнаружения может стать настолько большим, что за этот период происходит значительное изменение какого-либо из параметров, по которому проводится поиск. При этом эффективность обнаружения резко снижается.

Возможно ускорение поиска за счет параллельной обработки сигнала несколькими каналами [3, Ю.Г. Сосулин. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. М. - "Радио и связь", 1992 г., с. 56]. Однако подобное решение приводит к значительному усложнению аппаратуры.

Известен способ, основанный на устранении частотной неопределенности, это способ обнаружения сигнала и устройство для его

реализации [4, Заявка Японии N 59-17594, МКИ⁴ H 04 Q 1/44/ H 04 L 27/26 "Способ обнаружения сигнала", заявитель Кокусай дэнсин дэнва К.К.].

Способ обнаружения сигнала заключается в следующем. Значения выборок пары ортогональных функций, которые имеют период, равный обратной величине характерной частоты входного сигнала, и значения выборок входного сигнала перемножают. Произведения каждого вида соответственно суммируют на определенном интервале свертки. Квадратичные значения каждой суммы или их модули суммируют. Значение полученной суммы сравнивают с некоторым пороговым значением и на основании результата сравнения делают оценку наличия сигнала с обнаруживаемой частотой среди составляющих частот входного сигнала. Каждое квантованное значение выборки входного сигнала адресуют в постоянную память устройства памяти. По этим адресам хранят записанные в памяти произведения квантованных значений входного сигнала на значения выборок ортогональных функций. Перемножение выборок входного сигнала и ортогональных функций осуществляют путем табличного поиска в постоянной памяти устройства памяти по значениям выборок входного сигнала и номерам коэффициентов выборок ортогональных функций.

Устройство для реализации этого способа содержит квантователь, устройство памяти, квадратурные каналы обработки принимаемого сигнала, каждый из которых содержит перемножитель, сумматор и квадратор, сумматор (для суммирования выходных сигналов квадратурных каналов) и блок сравнения с порогом.

Фактически этот способ и устройство осуществляют цифровую фильтрацию сигнала с заданной частотой.

Недостатком этого способа и устройства является низкая эффективность при обработке широкополосных сигналов с большой неопределенностью частоты, характерной для современных систем радиосвязи, в частности подвижных систем связи с кодовым разделением каналов (CDMA).

Инвариантные способы обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной частотой и устройства для их реализации заключаются в расширении частотной полосы устройства обнаружения сигнала с целью перекрытия интервала неопределенности частоты входного сигнала. В частности, сокращение времени когерентной обработки сигнала эквивалентно расширению частотной

полосы. При этом часто используют комбинированную обработку - часть сигнала обрабатывается когерентно, а затем производится некогерентное накопление [4, Л.Е. Варакин. Системы связи с шумоподобными сигналами. М, "Радио и связь", 1985 г., стр. 292 - 294] и [5, Под ред. В.Б. Пестряков и другие. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. Москва, "Советское радио", 1973 г., стр. 264 - 269].

К такому способу и устройству для его реализации относится способ и устройство, описанные в [6, А. Витерби. Монография. Системы множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA). Принципы связи с расширением спектра, стр. 41, фиг. 3.1 (а). Andrew J. Viterbi. CDMA: principles of spread spectrum communication. Includes bibliographical references and index. ISBN 0-201-63374-4. I Title. TK 5103.45.V57 1995.], который является наиболее близким техническим решением к заявляемому изобретению.

Способ обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной частотой по Витерби [6] заключается в том, что осуществляют квадратурную демодуляцию принимаемого сигнала, образуя таким образом квадратурные сигналы, формируют опорный сигнал, представляющий собой копию принимаемого демодулированного сигнала, интервал обнаружения принимаемого сигнала разбивают на m смежных временных интервалов квазикогерентности сигнала, вычисляют значение корреляции каждого из квадратурных сигналов с опорным сигналом путем их перемножения и суммирования на каждом из временных интервалов квазикогерентности сигнала, образуя таким образом комплексную последовательность из m значений корреляции, вычисляют квадратичные значения модулей элементов полученной комплексной последовательности, полученные величины суммируют на интервале обнаружения, формируют выходную величину, которую сравнивают с заданным уровнем порога, и по результатам сравнения принимают решение.

Устройство для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной частотой в соответствии с фиг. 1 содержит два квадратурных канала обработки принимаемого сигнала, аналогично сформированных, первый из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель 1, фильтр низкой частоты 2, второй перемножитель 3, накопительный сумматор 4 и квадратор 5, второй квадратурный канал содержит последовательно соединенные пер-

вый перемножитель 6, фильтр низкой частоты 7, второй перемножитель 8, накопительный сумматор 9 и квадратор 10, фазовращатель 11, генератор несущей частоты 12, генератор опорного сигнала 13, сумматор 14, блок некогерентного накопления 15 и блок сравнения с порогом 16, при этом первый вход первого перемножителя в каждом квадратурном канале является входом устройства, второй вход первого перемножителя соединен с выходом генератора несущей частоты, причем в первом канале непосредственно, а во втором через фазовращатель, второй вход второго перемножителя соединен с выходом генератора опорного сигнала, выходы квадратурных каналов подключены к входам сумматора, выход которого соединен с входом блока некогерентного накопления, выход которого подключен к блоку сравнения с порогом, выход которого является выходом устройства.

Способ и устройство - прототип реализуют следующим образом (см. фиг. 1).

Смесь входного сигнала и шума поступает на первые входы перемножителей 1 и 6, на вторые входы которых поступает сигнал с генератора несущей частоты 12 в каждый квадратурный канал обработки принимаемого сигнала, причем в первый канал непосредственно, а во второй - через фазовращатель 11. Выходной сигнал с перемножителей 1 и 6 фильтруют на низкой частоте в фильтрах низкой частоты 2 и 7. Таким образом осуществляют квадратурную демодуляцию входной смеси принимаемого сигнала, образуя квадратурные сигналы.

Интервал обнаружения принимаемого сигнала разбивают на m смежных временных интервалов квазикогерентности сигнала.

Генератор опорного сигнала 13 формирует опорный сигнал, представляющий копию принимаемого демодулированного сигнала, и подает на вторые входы вторых перемножителей 3 и 8 в каждый квадратурный канал. Выходной сигнал со вторых перемножителей 3 и 8 поступает на соответствующие им накопительные сумматоры 4 и 9. Таким образом вычисляют значение корреляции каждого из квадратурных сигналов с опорным сигналом путем их перемножения и суммирования на каждом из временных интервалов квазикогерентности сигнала. Повторяя эту операцию на каждом последующем интервале квазикогерентности сигнала, образуют последовательность из m комплексных значений корреляции (один из квадратурных сигналов представляет действительную, второй - мнимую часть).

Выходные сигналы с сумматоров 4 и 9 поступают на входы квадраторов 5 и 10, где вычисляют квадраты действительной и мнимой компонент полученной последовательности m комплексных значений корреляции.

Полученные квадраты компонент суммируют в сумматоре 14, образуя таким образом квадрат модуля значения комплексной корреляции. Затем последовательно суммируют (накапливают) в блоке некогерентного накопления 15 квадраты модулей значений комплексной корреляции на интервале обнаружения, сравнивают с заданным уровнем порога в блоке сравнения с порогом 16 и по результатам сравнения принимают решение.

В этом техническом решении расширение полосы коррелятора достигается за счет сокращения времени когерентного накопления до величины интервала квазикогерентности сигнала. При этом интервал обнаружения разбивают на m смежных временных интервалов квазикогерентности сигнала. Результаты корреляционной обработки предварительно квадратурно-демодулированного сигнала на последовательных интервалах квазикогерентности сигнала квадратично (некогерентно) суммируют. Недостатком этого способа и устройства для его реализации является низкая эффективность обнаружения в условиях низких значений отношения сигнала к шуму на выходе сумматора 14. Это обусловлено тем, что нелинейная операция возведения в квадрат в блоках 5 и 10 приводит к появлению шумовой компоненты, не подавляемой при последующем некогерентном накоплении в блоке 15. Снижение эффективности также происходит в условиях значительной неопределенности частоты, когда уменьшается интервал квазикогерентности сигнала и, следовательно, требуется большое количество некогерентных накоплений.

Поэтому задача, на решение которой направлены заявляемый способ и устройство (варианты), это повышение эффективности обнаружения сигнала с неизвестной несущей частотой. Для достижения этой цели в заявляемом изобретении вместо некогерентного накопления проводят корреляцию результатов обработки сигнала на последовательных смежных интервалах квазикогерентности сигнала с набором последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов, формируя набор комплексных коэффициентов корреляции. Из модулей полученного набора комплексных коэффициентов корреляции выбирают максимум. При этом результат корреляции с комплексным гармоническим сигналом, наи-

более близким по частоте к входному демодулированному сигналу, приближается к результату когерентной обработки сигнала на всем интервале обнаружения. Поэтому более эффективно подавляется шумовая компонента.

Решение поставленной задачи достигается за счет того, что в способ обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой, который заключается в том, что осуществляют квадратурную демодуляцию принимаемого сигнала, образуя таким образом квадратурные сигналы, формируют опорный сигнал, представляющий собой копию принимаемого демодулированного сигнала, интервал обнаружения принимаемого сигнала разбивают на m смежных временных интервалов квазикогерентности сигнала, вычисляют значения корреляции каждого из квадратурных сигналов с опорным сигналом путем их перемножения и суммирования на каждом из временных интервалов квазикогерентности сигнала, образуя таким образом последовательность из m комплексных значений корреляции, формируют выходную величину, которую сравнивают с заданным уровнем порога и по результатам сравнения принимают решение об обнаружении сигнала, дополнительно вводят следующую последовательность операций:

- формируют на интервале обнаружения опорные комплексные гармонические сигналы с частотами, распределенными в диапазоне неопределенности частоты демодулированного сигнала, таким образом, чтобы разность между соседними частотами, включая границы диапазона, была меньше обратной величины интервала обнаружения,

- формируют последовательности по m отсчетов из каждого сформированного опорного комплексного гармонического сигнала с временным шагом, равным интервалу квазикогерентности сигнала,

- вычисляют корреляцию последовательности из m комплексных значений корреляции с каждой последовательностью по m отсчетов комплексных гармонических сигналов, образуя таким образом комплексные коэффициенты корреляции,

- вычисляют модули комплексных коэффициентов корреляции и выделяют максимальный из них, который используют в качестве выходной величины.

Решение поставленной задачи достигается также и за счет того, что в устройство для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной частотой (по первому варианту), которое содержит два квадратурных канала

обработки принимаемого сигнала, каждый из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель, фильтр низкой частоты, второй перемножитель и сумматор, фазовращатель, генератор несущей частоты, генератор опорного сигнала и блок сравнения с порогом, при этом первый вход первого перемножителя в каждом квадратурном канале является входом устройства, второй вход первого перемножителя в каждом квадратурном канале соединен с выходом генератора несущей частоты, причем в первом канале непосредственно, а во втором - через фазовращатель, второй вход второго перемножителя в каждом квадратурном канале соединен с выходом генератора опорного сигнала, дополнительно введены:

- формирователь опорных последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов;

- блок формирования комплексных коэффициентов корреляции, содержащий n аналогично выполненных ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции, каждая из которых содержит четыре перемножителя, инвертор и два сумматора;

- блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции;

- блок выбора максимума.

При этом в блок-схему заявляемого устройства соответственно введены новые связи, т.е.:

- выходы формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов соединены со вторыми входами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции, первые входы которого соединены с выходами квадратурных каналов;

- выходы блока формирования комплексных коэффициентов корреляции соединены с соответствующими им входами блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции;

- выходы блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции соединены с входами блока выбора максимума, выход которого подключен к входу блока сравнения с порогом.

Решение поставленной задачи достигается также и за счет того, что в устройство для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной частотой (по второму варианту), которое содержит два квадратурных канала обработки принимаемого сигнала, каждый из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель, фильтр низкой частоты, второй перемножитель и сумматор, фазовращатель, генератор несущей частоты,

генератор опорного сигнала и блок сравнения с порогом, при этом первый вход первого перемножителя в каждом квадратурном канале является входом устройства, второй вход первого перемножителя в каждом квадратурном канале соединен с выходом генератора несущей частоты, причем в первом канале непосредственно, а во втором - через фазовращатель, второй вход второго перемножителя в каждом квадратурном канале соединен с выходом генератора опорного сигнала, дополнительно введены:

- формирователь опорных последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов;

- блок формирования комплексных коэффициентов корреляции, содержащий $n/2$ аналогично выполненных ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции, каждая из которых содержит четыре перемножителя, два инвертора и четыре сумматора;

- блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции;

- блок выбора максимума.

При этом в блок-схему заявляемого устройства соответственно введены новые связи, т.е.:

- выходы формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов соединены со вторыми входами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции, первые входы которого соединены с выходами квадратурных каналов;

- выходы блока формирования комплексных коэффициентов корреляции соединены с соответствующими им входами блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции;

- выходы блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции соединены с входами блока выбора максимума, выход которого подключен к входу блока сравнения с порогом.

Отличие вариантов исполнения заявляемого устройства заключается в разном выполнении блока формирования комплексных коэффициентов корреляции. Однако любой из вариантов реализует заявляемый способ в полном объеме и достигает в итоге эквивалентных результатов.

Сопоставительный анализ с прототипом заявляемого способа обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой показывает, что заявляемый способ отличается наличием новых существенных признаков, которые в совокупности позволяют повысить эффективность обнаружения

широкополосного сигнала, особенно в условиях мощных помех и большой неопределенности частоты, следовательно, заявляемый способ отвечает критерию "новизна".

Сравнение заявляемого способа с другими техническими решениями, известными в данной области техники [1-5], не позволило выявить признаки, заявленные в отличительной части формулы изобретения, следовательно, можно предположить, что заявляемое техническое решение отвечает критериям "техническое решение задачи", "новизна", "существенные отличия" и отвечает изобретательскому уровню.

Сопоставительный анализ с прототипом заявляемого устройства для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой (варианты) показывает, что заявляемое устройство отличается наличием новых существенных признаков, следовательно, отвечает критерию "новизна".

Сравнение заявляемого устройства (варианты) с другими техническими решениями не позволило выявить признаки, заявленные в отличительной части формулы изобретения, это то, что введены формирователь последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов, блок формирования комплексных коэффициентов корреляции, блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции и блок выбора максимума, а также соответственно введены новые связи в схему, которые позволили повысить эффективность обнаружения сигнала с неизвестной несущей частотой. Следовательно, можно предположить, что заявляемое техническое решение отвечает критериям "техническое решение задачи", "новизна", "существенные отличия" и отвечает изобретательскому уровню.

На фиг. 1 представлена блок-схема устройства для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой (прототип). На фиг. 2 представлена блок-схема заявляемого устройства для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой, на фиг. 3 - схема формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов; на фиг. 4 - схема блока формирования комплексных коэффициентов корреляции (первый вариант реализации); на фиг. 5 - схема блока формирования комплексных коэффициентов корреляции (второй вариант реализации); на фиг. 6 - блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции; фиг. 7 иллюстрирует результаты моделирования прототипа и заявляемого изобретения

Устройство для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой (прототип) в соответствии с фиг. 1 содержит два квадратурных канала, первый квадратурный канал из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель 1, фильтр низкой частоты 2, второй перемножитель 3, накопительный сумматор 4 и квадратор 5, второй квадратурный канал содержит последовательно соединенные первый перемножитель 6, фильтр низкой частоты 7, второй перемножитель 8, накопительный сумматор 9 и квадратор 10; фазовращатель 11, генератор несущей частоты 12, генератор опорного сигнала 13, сумматор 14, блок некогерентного накопления 15 и блок сравнения с порогом 16.

Устройство для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой (заявляемое изобретение) в соответствии с фиг. 2 содержит два квадратурных канала, первый из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель 1, фильтр низкой частоты 2, второй перемножитель 3 и накопительный сумматор 4, второй из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель 5, фильтр низкой частоты 6, второй перемножитель 7 и накопительный сумматор 8; фазовращатель 9, генератор несущей частоты 10, генератор опорного сигнала 11, формирователь последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12, блок формирования комплексных коэффициентов корреляции 13, блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции 14, блок выбора максимума 15 и блок сравнения с порогом 16.

Формирователь последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 представлен как частный вариант выполнения и в соответствии с фиг. 3 содержит элементы памяти 17 и 18 и n элементов считывания 19-1 - 19- n .

Блок формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 может быть выполнен различным способом, например по первому варианту в соответствии с фиг. 4 содержит n (n - целое число) аналогично выполненным ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции, каждая из которых содержит, например, как и первая ветвь, первый 20, второй 21, третий 22 и четвертый 23 перемножители, инвертор 24 и первый 25 и второй 26 сумматоры (накапливающие).

Блок формирования комплексных коэффициентов корреляции 13, например, по

второму варианту в соответствии с фиг. 5 содержит $n/2$ (n - четное) аналогично выполненных ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции, каждая из которых содержит, например как и первая ветвь, первый 27, второй 28, третий 29 и четвертый 30 перемножители, первый 31 и второй 32 инверторы и первый 33, второй 34, третий 35 и четвертый 36 сумматоры (накапливающие).

Авторы не исключают какие-либо другие варианты реализации блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13. Варианты блока 13 раскрыты для понимания сути работы заявляемого устройства обнаружения широкополосного сигнала, а также они отработаны для практической реализации изобретения.

Блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции 14 представлен как частный вариант выполнения и в соответствии с фиг. 6 содержит n аналогично сформированных ветвей вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции, каждая из которых содержит, например, как и первая ветвь, квадраторы 37, 38, 39 и 40, сумматоры 41 и 42 и элементы вычисления модуля 43 и 44.

Способ обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой и фазой реализуют, используя устройство, блок-схема которого изображена на фиг. 2.

Смесь входного сигнала и шума поступает на первые входы первых перемножителей 1 и 5 в каждом квадратурном канале, на вторые входы которых поступает сигнал с генератора несущей частоты 10 в каждый квадратурный канал обработки принимаемого сигнала, причем в первый канал непосредственно, а во второй - через фазовращатель 9. Выходной сигнал с первых перемножителей 1 и 5 фильтруют на низкой частоте в фильтрах низкой частоты 2 и 6. Таким образом осуществляют квадратурную демодуляцию входной смеси принимаемого сигнала, образуя квадратурные сигналы, которые представляют действительную и мнимую части демодулированного комплексного сигнала.

Интервал обнаружения принимаемого сигнала разбивают на m смежных временных интервалов квазикогерентности сигнала.

Поясним смысл разбиения интервала обнаружения сигнала T на смежные временные интервалы квазикогерентности сигнала t_k . При неизвестной фактической частоте входного сигнала ω , и частоте генератора несущей частоты ω_0 , компоненты на выходе квадратурного демодулятора, являются пери-

одическими функциями разностной частоты, $\omega_0 - \omega$ и могут изменять знак на интервале времени обнаружения сигнала. Корреляция каждой компоненты с опорным сигналом на всем интервале времени обнаружения T в этом случае может стать неэффективной, так как существует вероятность получения полной компенсации сигнала, например, если интервал времени обнаружения сигнала T равен периоду разностной частоты, т.е.

$$T = 2\pi / |(\omega_0 - \omega)|.$$

Если весь интервал времени обнаружения T разбить на смежные временные интервалы квазикогерентности сигнала t_k таким образом, чтобы фаза каждой из квадратурных компонент на выделенном интервале разбиения была приблизительно постоянной, то величина изменения фазы $\Delta\varphi$ определится выражением:

$$\Delta\varphi = (\omega_0 - \omega) \cdot t_k.$$

При этом выбор значения максимально допустимого ухода фазы $\Delta\varphi_{\max}$ определяет величину интервала квазикогерентности сигнала t_k при заданной величине диапазона частотной неопределенности $\Delta\omega$ ($\omega_0 - \Delta\omega \leq \omega \leq \omega_0 + \Delta\omega$)

Таким образом:

$$t_k = \Delta\omega_{\max} / \Delta\omega.$$

Тогда весь интервал времени обнаружения T разбивается на m смежных временных интервалов квазикогерентности сигнала t_k :

$$m = \lfloor T/t_k \rfloor,$$

где $\lfloor \cdot \rfloor$ - целая часть числа.

Генератор опорного сигнала 11 формирует опорный сигнал, представляющий копию демодулированного сигнала, и подает на вторые входы вторых перемножителей 3 и 7 в каждый квадратурный канал. Выходной сигнал со вторых перемножителей 3 и 7 поступает на соответствующие им сумматоры 4 и 8. Таким образом вычисляют значение корреляции каждого из квадратурных сигналов с опорным сигналом путем их перемножения и суммирования на каждом из временных интервалов квазикогерентности сигнала, образуя последовательность из m комплексных значений корреляции.

На интервале обнаружения формируют опорные комплексные гармонические сигналы с частотами, распределенными в диапазоне неопределенности частоты демодулированного сигнала, таким образом, чтобы разность между соседними частотами, включая границы диапазона, была меньше обратной величины интервала обнаружения.

В формирователе последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 (см. фиг. 2) формируют последовательности по m отсчетов из каждого из сформированных опорных комплексных гармонических сигналов с временным шагом, равным интервалу квазикогерентности сигнала.

На первые входы блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 поступает последовательность из m комплексных значений корреляции (выходные сигналы квадратурных каналов, в частности с сумматоров 4 и 8), на вторые входы этого блока поступают последовательности по m отсчетов комплексных гармонических сигналов (с формирователя последовательностей комплексных гармонических сигналов 12). В блоке формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 вычисляют корреляцию последовательностей из m комплексных значений корреляции с каждой из последовательностей по m отсчетов комплексных гармонических сигналов, образуя таким образом комплексные коэффициенты корреляции.

Выходные сигналы (комплексные коэффициенты корреляции) с блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 поступают на соответствующие им входы блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции 14, выходные сигналы которого поступают на блок выбора максимума 15. В блоке выбора максимума 15 из модулей комплексных коэффициентов корреляции выделяют максимальный и подают на блок сравнения с порогом 16.

В блоке сравнения с порогом 16 максимальный модуль комплексного коэффициента корреляции сравнивают с заданной величиной порога и по результатам сравнения принимают решение об обнаружении или необнаружении сигнала.

Для лучшего понимания изложения сути предлагаемого изобретения рассмотрим работу блоков, заявленных в отличительной части формулы изобретения (см. фиг. 3 - 6).

Рассмотрим, в частности, более подробно варианты реализации формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 (фиг. 3) и блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 (фиг. 4 и 5). Варианты реализации этих блоков зависят от способа определения частот комплексных гармонических сигналов, при котором частоты выби-

раются из диапазона частотной неопределенности входного сигнала.

Например, если частоты выбирают из диапазона частотной неопределенности демодулированного сигнала от $-\Delta\omega$ до $+\Delta\omega$, в соответствии с формулой изобретения, без каких-либо дополнительных условий, тогда в формирователе последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 (фиг. 3) формируют, предположим, p последовательностей по m отсчетов комплексных гармонических сигналов.

В формирователе последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 (фиг. 3) элемент памяти 17 содержит реальные компоненты отсчетов последовательностей комплексных гармонических сигналов - C_{ik} ($i = 1...m, k = 1...p$).

Элемент памяти 18 содержит мнимые компоненты отсчетов последовательностей комплексных гармонических сигналов S_{ik} ($i = 1...m, k = 1...p$).

Выходные сигналы с элементов памяти 17 и 18 одновременно поступают на элементы считывания 19-1 - 19- p . Элемент считывания 19-1 считывает подряд m значений C_{i1}, S_{i1} ($i = 1...m$) из элементов памяти 17 и 18. Следующий элемент считывания считывает подряд m значений C_{i2}, S_{i2} ($i = 1...m$) из элементов памяти 17 и 18 и так далее.

Таким образом, всего в формирователе последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 формируют p последовательностей по m отсчетов комплексных гармонических сигналов, которые поступают на вторые входы блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13.

Тогда соответственно сформированным p последовательностям по m отсчетов комплексных гармонических сигналов в блоке формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 (фиг. 4, по первому варианту исполнения) образуют p аналогично выполненных ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции, при этом выходные сигналы с каждого квадратурного канала (в частности, с сумматоров 4 и 8) поступают на первые входы p ветвей, а на вторые входы поступают последовательности отсчетов комплексных гармонических сигналов.

Рассмотрим формирование комплексных коэффициентов корреляции на примере одной, первой ветви. С квадратурных каналов выходные сигналы поступают на первые входы первого 20, второго 21, третьего 22 и четвертого 23 перемножителей,

причем на первые входы первого 20 и второго 21 перемножителей поступают отсчеты реальной компоненты a_i , а на первые входы третьего 22 и четвертого 23 перемножителей - мнимой компоненты b_i . На второй вход первого 20, второго 21, третьего 22 и четвертого 23 перемножителей поступают m отсчетов комплексных гармонических сигналов с формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12, причем на второй вход первого 20 и третьего 22 перемножителей поступает реальная компонента C_{ik} , а на второй вход второго 21 и четвертого 23 перемножителей - мнимая S_{ik} . Выходной сигнал с первого перемножителя 20 ($a_i \cdot C_{ik}$) поступает на первый вход первого сумматора 25. Выходной сигнал со второго перемножителя 21 ($a_i \cdot S_{ik}$) поступает на первый вход второго сумматора 26 через инвертор 24. Выходной сигнал с третьего перемножителя 22 ($b_i \cdot C_{ik}$) поступает на второй вход второго сумматора 26. Выходной сигнал с четвертого перемножителя 23 ($b_i \cdot S_{ik}$) поступает на второй вход первого сумматора 25.

Первый 25 и второй 26 сумматоры суммируют результаты перемножения и одновременно накапливают m полученных сумм, то есть осуществляют суммирование по индексу i .

Выходные сигналы с первого 25 и второго 26 сумматоров являются первым комплексным коэффициентом, представляющими корреляцию квадратурного сигнала с комплексным гармоническим сигналом.

Всего с блока формирования коэффициентов комплексной корреляции 13 (по первому варианту) поступят p комплексных коэффициентов корреляции на соответствующие им входы блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции 14.

Рассмотрим второй вариант реализации формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 (фиг. 3) и блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 (фиг. 5).

Этот вариант реализации соответствует такому способу определения частот комплексных гармонических сигналов, при котором частоты выбираются из диапазона частотной неопределенности демодулированного сигнала от $-\Delta\omega$ до $+\Delta\omega$, попарно симметричными относительно нуля. В этом случае комплексные сигналы образуют два подмножества попарно-сопряженных сигналов, общее количество которых p четно, а количество в каждом подмножестве равно $p/2$. При этом в формирователе последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12

формируют последовательности сигналов только какого-либо одного подмножества, а в блоке формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 операции вычисления корреляции с попарно-сопряженными сигналами выполняют одновременно, используя дополнительно инверсию и суммирование.

В этом случае в формирователе последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 (фиг. 3) элемент памяти 17 может содержать реальные компоненты отсчетов последовательностей комплексных гармонических сигналов C_{ik} ($i = 1...m$, $k = 1...p/2$) или S_{ik} ($i = 1...m$, $k = -1...-p/2$).

Элемент памяти 18 может содержать мнимые компоненты отсчетов последовательностей комплексных гармонических сигналов S_{ik} ($i = 1...m$, $k = 1...p/2$) или соответственно S_{ik} ($i = 1...m$, $k = -1...-p/2$).

Для случая равномерного распределения частот комплексных гармонических сигналов в диапазоне неопределенности частоты ($-\Delta\omega, +\Delta\omega$) компоненты C_{ik} , S_{ik} могут рассчитываться по формулам.

$$C_{ik} = \cos[i \cdot (k-1) \cdot T \cdot |\Delta\omega| / n \cdot m],$$

$$S_{ik} = \sin[i \cdot (k-1) \cdot T \cdot |\Delta\omega| / n \cdot m]$$

или

$$C_{ik} = \cos[i \cdot (k+1) \cdot T \cdot |\Delta\omega| / n \cdot m],$$

$$S_{ik} = \sin[i \cdot (k+1) \cdot T \cdot |\Delta\omega| / n \cdot m] \text{ соответственно,}$$

где $\Delta\omega$ максимальное значение неопределенности частоты;

T - интервал обнаружения.

Выходные сигналы с элементов памяти 17 и 18 одновременно поступают на элементы считывания 19-1 - 19- $p/2$. Элемент считывания 19-1 считывает подряд m значений C_{i1} , S_{i1} ($i = 1...m$) из элементов памяти 17 и 18. Следующий элемент считывания считывает подряд m значений C_{i2} , S_{i2} , ($i = 1...m$) из элементов памяти 17 и 18 и так далее.

Таким образом, по второму варианту выполнения, всего в формирователе последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 формируют, например, $p/2$ последовательностей по m отсчетов, которые поступают на вторые входы блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13.

Тогда соответственно сформированным $p/2$ последовательностям по m отсчетов комплексных гармонических сигналов в блоке формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 (фиг. 5) образуют $p/2$ аналогично выполненных ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции 13.

ляции, на первые входы которых поступает последовательность из m комплексных значений корреляции (с квадратурных каналов), а на вторые входы которых поступают $n/2$ последовательностей по m отсчетов комплексных гармонических сигналов.

Рассмотрим формирование комплексных коэффициентов корреляции на примере одной, первой ветви. С квадратурных каналов выходные сигналы поступают на первые входы первого 27, второго 28, третьего 29 и четвертого 30 перемножителей, причем на первые входы первого 27 и второго 28 перемножителей поступают отсчеты реальной компоненты a_i , а на первые входы третьего 29 и четвертого 30 перемножителей - мнимой компоненты b_i . На второй вход первого 27, второго 28, третьего 29 и четвертого 30 перемножителей поступают m отсчетов комплексных гармонических сигналов с формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12, причем на второй вход первого 27 и второго 29 перемножителей поступает реальная компонента S_{ik} , а на второй вход второго 28 и четвертого 30 перемножителей - мнимая S_{ik} компонента. Выходной сигнал с первого перемножителя 27 ($a_i \cdot S_{ik}$) поступает на первый вход первого сумматора 33 и первый вход четвертого сумматора 36. Выходной сигнал со второго перемножителя 28 ($a_i \cdot S_{ik}$) поступает на первый вход второго сумматора 34 и первый вход третьего сумматора 35, причем на первый вход третьего сумматора 35 непосредственно, а на первый вход второго сумматора 34 - через первый инвертор 31. Выходной сигнал с третьего перемножителя 29 ($b_i \cdot S_{ik}$) поступает одновременно на второй вход второго сумматора 34 и второй вход третьего сумматора 35. Выходной сигнал с четвертого перемножителя 30 ($b_i \cdot S_{ik}$) поступает на второй вход первого сумматора 33 и второй вход четвертого сумматора 36, причем на второй вход первого сумматора 33 - непосредственно, а на второй вход четвертого сумматора 36 - через второй инвертор 32.

Первый 33, второй 34, третий 35 и четвертый 36 сумматоры суммируют результаты перемножения и одновременно накапливают m полученных сумм, то есть осуществляют суммирование по индексу i .

Выходные сигналы с первого сумматора 33 (действительная компонента) и второго сумматора 34 (мнимая компонента) являются первым комплексным коэффициентом корреляции, представляющим корреляцию квадратурного сигнала с комплексным гармоническим сигналом. Выходные сигналы

с третьего сумматора 35 (действительная компонента) и четвертого сумматора 36 (мнимая компонента) являются вторым комплексным коэффициентом корреляции с комплексным гармоническим сигналом. Таким образом выполняется операция попарно-сопряженной (или можно сказать бисопряженной) комплексной корреляции.

Всего в блоке формирования комплексных коэффициентов корреляции 13 формируют n комплексных коэффициентов корреляции, которые поступают на соответствующие им входы блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции 14.

Авторы для реализации заявляемого устройства обнаружения широкополосного сигнала предложили два варианта реализации формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов 12 и блока формирования комплексных коэффициентов корреляции 13, при этом второй вариант реализации этих блоков является наиболее предпочтительным, так как позволяет сократить количество вычислительных операций, таких, как непосредственное поочередное вычисление корреляции с комплексным и комплексно-сопряженным сигналом (например, как по другим возможным вариантам), которые предполагают повторение одних и тех же операций перемножения и сложения чисел с учетом инверсии знаков, определяемых знаком неопределенности частоты.

Далее рассмотрим пример реализации блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции (см. фиг. 5), который предложен как частный вариант выполнения и согласован с работой блоков 12 и 13.

Комплексные коэффициенты корреляции одновременно поступают на входы n аналогично выполненным ветвей вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции.

Рассмотрим работу этого блока на примере одной, например, первой ветви вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции. Комплексные коэффициенты корреляции поступают на входы квадраторов 37 - 40. Полученные величины с квадраторов 37 и 38 суммируют в сумматоре 41, а величины с квадраторов 39 и 40 - в сумматоре 42. Выходные значения с сумматоров 41 и 42 соответственно поступают на элементы вычисления модуля 43 и 44. Выход с элемента вычисления модуля 43 является модулем первого коэффициента корреляции, выход с элемента

вычисления модуля 44 является модулем второго коэффициента корреляции.

Всего с блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции поступает n модулей комплексных коэффициентов корреляции на блок выбора максимума 15.

В заключение поясним более подробно суть заявляемого изобретения.

Задача изобретения, на решение которой направлены заявляемый способ и устройство, - это повышение эффективности обнаружения сигнала с неизвестной несущей частотой.

Достигнуть поставленную задачу авторы предполагаемого изобретения решили путем повышения эффективности способа-прототипа (способа обнаружения с некогерентным накоплением по Витерби). Преимущество обнаружения с некогерентным накоплением состоит в том, что проводится предварительная демодуляция и частичная корреляция входного сигнала с опорным на смежных интервалах квазикогерентности сигнала. В устройстве, реализующем этот способ, эти операции значительно сокращают частоту следования отсчетов сигнала на последующих стадиях его обработки и расширяют возможности применения техники цифровой обработки сигнала.

Поэтому вместо простого квадратичного суммирования результатов демодуляции и корреляции сигнала на смежных временных интервалах (как в способе-прототипе), предлагается ввести такую последовательность операций в способ обнаружения широкополосного сигнала, которые позволяют определить корреляцию входного сигнала с набором гармонических сигналов с частотами, распределенными в диапазоне неопределенности частоты. Таким образом в процесс обнаружения широкополосного сигнала вводится проверка гипотезы о наличии сигнала с частотой, принадлежащей интервалу, прилегающему к частоте одного из формируемых комплексных гармонических сигналов. Эта операция позволяет значительно повысить эффективность обнаружения в условиях значительной неопределенности частоты и низких отношений сигнала к шуму.

На фиг. 7 приведены результаты компьютерного моделирования при следующих условиях:

- неопределенность частоты $\pm 4,8$ кГц (период разностной частоты $T=208$ мкс);
- частота следования отсчетов 1,2288 МГц;
- интервал квазикогерентности сигнала 13 мкс (16 отсчетов);
- отношение сигнал/шум на один отсчет -17,1 дБ;
- общее время накопления 208 мкс.

Кривые, изображенные на фиг. 7 и имеющие индекс "0", представляют нормированные оценки интегральной вероятности ложной тревоги ($P_{лт}$), а имеющие индекс "1" - оценки интегральной вероятности пропуска сигнала ($P_{пр}$) и соответствуют:

A_0 и A_1 - устройство некогерентного обнаружения широкополосного сигнала с последетекторным суммированием результатов, полученных на интервалах квазикогерентности сигнала;

B_0 и B_1 - заявляемое устройство обнаружения широкополосного сигнала.

Анализируя результаты компьютерного моделирования заявляемого изобретения, можно увидеть, что, например, при величине вероятности ложной тревоги $P_{лт}=0,1$ и величине порога обнаружения $U_{пор} = 1,2$ (см. рис. 7), вероятность правильного обнаружения сигнала $P_{обн} = 1 - P_{пр}$ для устройства некогерентного обнаружения широкополосного сигнала с последетекторным суммированием результатов, полученных на интервалах квазикогерентности сигнала (прототип), составит величину 0,58, а для заявляемого способа обнаружения широкополосного сигнала и устройства для его реализации (варианты) - величину 0,82, т.е. по вероятности правильного обнаружения сигнала $P_{обн}$ заявляемые способ и устройство превосходят прототип.

Таким образом, в условиях неопределенности частоты заявляемое изобретение обладает лучшими характеристиками, что позволило решить задачу повышения эффективности обнаружения широкополосного сигнала, особенно в условиях мощных помех и большой неопределенности частоты.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой, заключающийся в том, что осуществляют квадратурную демодуляцию принимаемого сигнала, образуя таким образом квадратурные сигналы, формируют опорный сигнал,

представляющий собой копию принимаемого демодулированного сигнала, интервал обнаружения принимаемого сигнала разбивают на m смежных временных интервалов квазикогерентности сигнала, вычисляют значения корреляции каждого из квадратурных сигна-

лов с опорным сигналом путем их перемножения и суммирования на каждом из временных интервалов квазикогерентности сигнала, образуя таким образом последовательность из m комплексных значений корреляции, формируют выходную величину, которую сравнивают с заданным уровнем порога, и по результатам сравнения принимают решение об обнаружении сигнала, **отличающийся** тем, что формируют на интервале обнаружения опорные комплексные гармонические сигналы с частотами, распределенными в диапазоне неопределенности частоты демодулированного сигнала, таким образом, чтобы разность между соседними частотами, включая границы диапазона, была меньше обратной величины интервала обнаружения, образуют последовательности по m отсчетов из каждого сформированного опорного комплексного гармонического сигнала с временным шагом, равным интервалу квазикогерентности сигнала, вычисляют корреляцию последовательности из m комплексных значений корреляции с каждой последовательностью отсчетов комплексных гармонических сигналов, образуя таким образом комплексные коэффициенты корреляции, вычисляют модули комплексных коэффициентов корреляции и выделяют максимальный из них, который используют в качестве выходной величины.

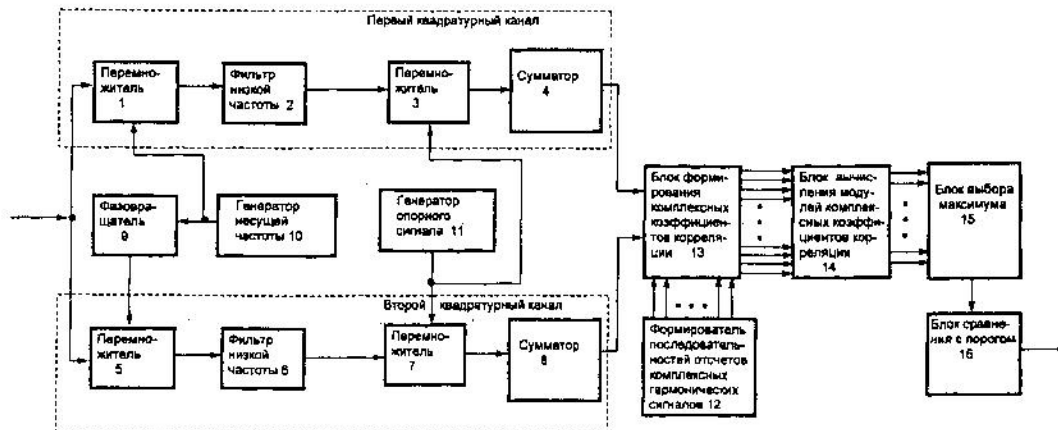
2. Устройство для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной частотой, содержащее два квадратурных канала обработки принимаемого сигнала, каждый из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель, фильтр низкой частоты, второй перемножитель и сумматор, фазовращатель, генератор несущей частоты, генератор опорного сигнала и блок сравнения с порогом, при этом первый вход первого перемножителя в каждом квадратурном канале является входом устройства, второй вход первого перемножителя соединен с выходом генератора несущей частоты, причем в первом квадратурном канале непосредственно, а во втором - через фазовращатель, второй вход второго перемножителя в каждом квадратурном канале соединен с выходом генератора опорного сигнала, **отличающееся** тем, что введены формирователь последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов, формирующий p последовательностей, где p - целое число, по m отсчетов комплексных гармонических сигналов, блок формирования комплексных коэффициентов корреляции, блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции и блок выбора

максимума, при этом выходы формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов соединены со вторыми входами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции, первые входы которого соединены с выходами квадратурных каналов, выходы блока формирования комплексных коэффициентов корреляции соединены с входами блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции, выходы которого соединены с входами блока выбора максимума, выход которого подключен к входу блока сравнения с порогом, а блок формирования комплексных коэффициентов корреляции содержит p ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции, каждая из которых содержит первый, второй, третий и четвертый перемножители, инвертор и первый и второй сумматоры, при этом первые и вторые входы перемножителей в каждой ветви формирования комплексных коэффициентов корреляции являются соответственно первыми и вторыми входами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции, причем первые входы соединены с выходами квадратурных каналов, а вторые - с выходами формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов, выходы первого и четвертого перемножителей подключены к первому сумматору, а выходы второго и третьего перемножителей подключены ко второму сумматору, причем второй перемножитель соединен со вторым сумматором через инвертор, выходы первого и второго сумматоров в каждой ветви формирования комплексных коэффициентов корреляции являются выходами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции.

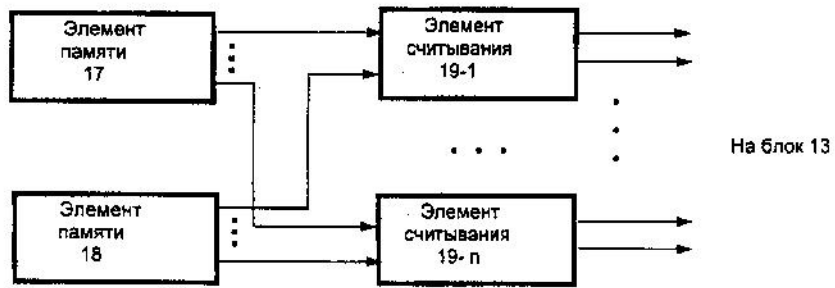
3. Устройство для обнаружения широкополосного сигнала с неизвестной частотой, содержащее два квадратурных канала обработки принимаемого сигнала, каждый из которых содержит последовательно соединенные первый перемножитель, фильтр низкой частоты, второй перемножитель и сумматор, фазовращатель, генератор несущей частоты, генератор опорного сигнала и блок сравнения с порогом, при этом первый вход первого перемножителя в каждом квадратурном канале является входом устройства, второй вход первого перемножителя соединен с выходом генератора несущей частоты, причем в первом канале непосредственно, а во втором через фазовращатель, второй вход второго перемножителя в каждом квадратурном канале соединен с выходом генератора опорного сигнала, **отличающееся** тем, что

введены формирователь последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов, формирующий $n/2$ последовательностей сигналов из общего количества n попарно сопряженных сигналов, где n - целое, четное, по m отсчетов комплексных гармонических сигналов, блок формирования комплексных коэффициентов корреляции, блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции, блок выбора максимума, при этом выходы формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов соединены со вторыми входами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции, первые входы которого соединены с выходами квадратурных каналов, выходы блока формирования комплексных коэффициентов корреляции соединены с входами блока вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции, выходы которого соединены с входами блока выбора максимума, выход которого подключен к входу блока сравнения с порогом, а блок формирования комплексных коэффициентов корреляции содержит $n/2$ ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции, каждая из которых содержит первый, второй, третий и четвертый перемножители, первый и второй инверторы и первый, второй, третий и четвертый сумма-

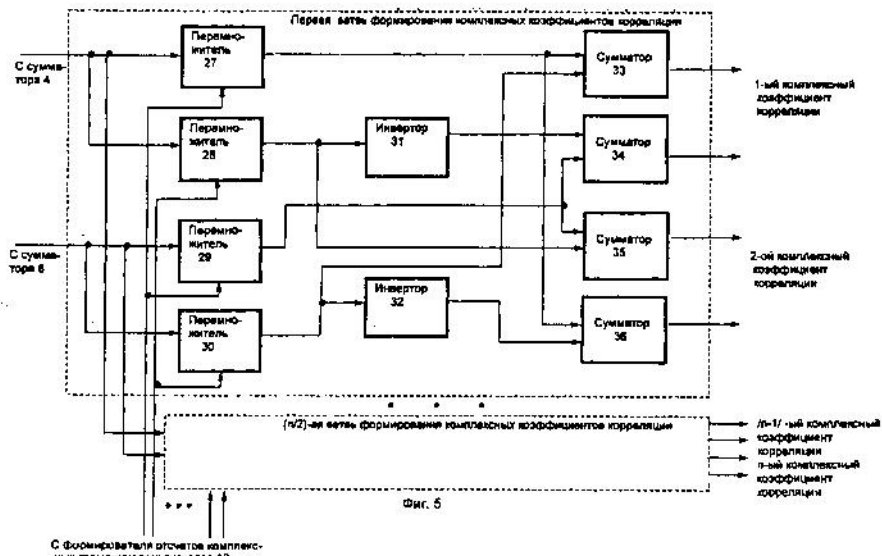
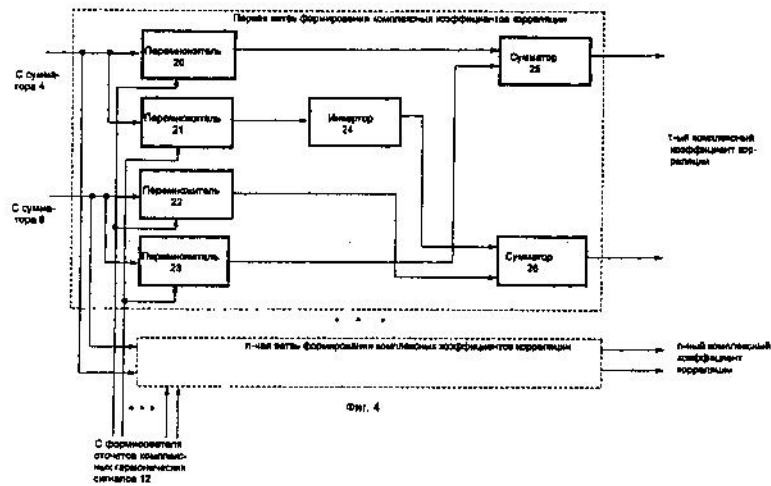
торы, при этом первые и вторые входы перемножителей в каждой ветви формирования комплексных коэффициентов корреляции являются соответственно первыми и вторыми входами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции, причем первые входы соединены с выходами квадратурных каналов, а вторые - с выходами формирователя последовательностей отсчетов комплексных гармонических сигналов, при этом первый выход первого перемножителя соединен с первыми входами первого и второго сумматоров, выход второго перемножителя соединен с первыми входами второго и третьего сумматоров, причем со вторым сумматором - через первый инвертор, выход третьего перемножителя соединен со вторыми входами второго и третьего сумматоров, выход четвертого перемножителя соединен со вторыми входами первого и четвертого сумматоров, причем с первым сумматором - через второй инвертор, выходы сумматоров со всех ветвей формирования комплексных коэффициентов корреляции являются выходами блока формирования комплексных коэффициентов корреляции на блок вычисления модулей комплексных коэффициентов корреляции.

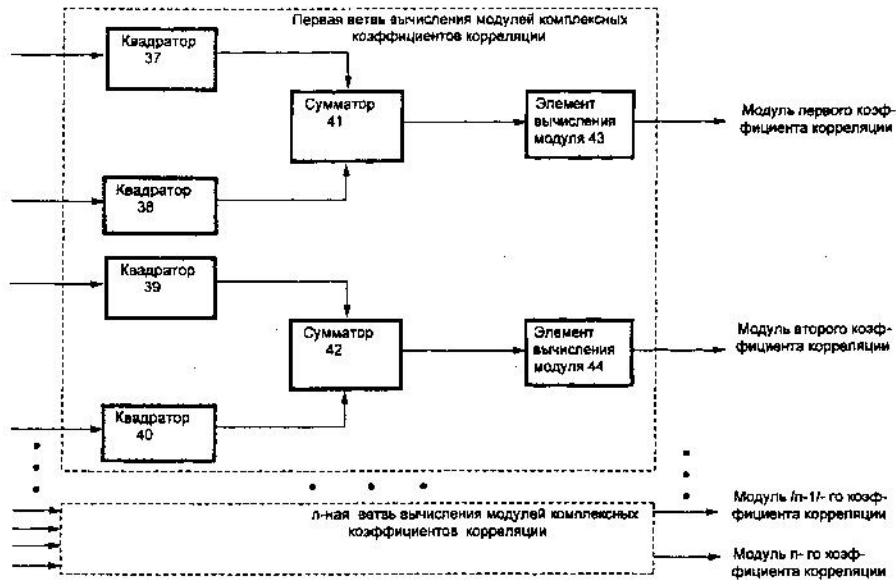


Фиг. 2

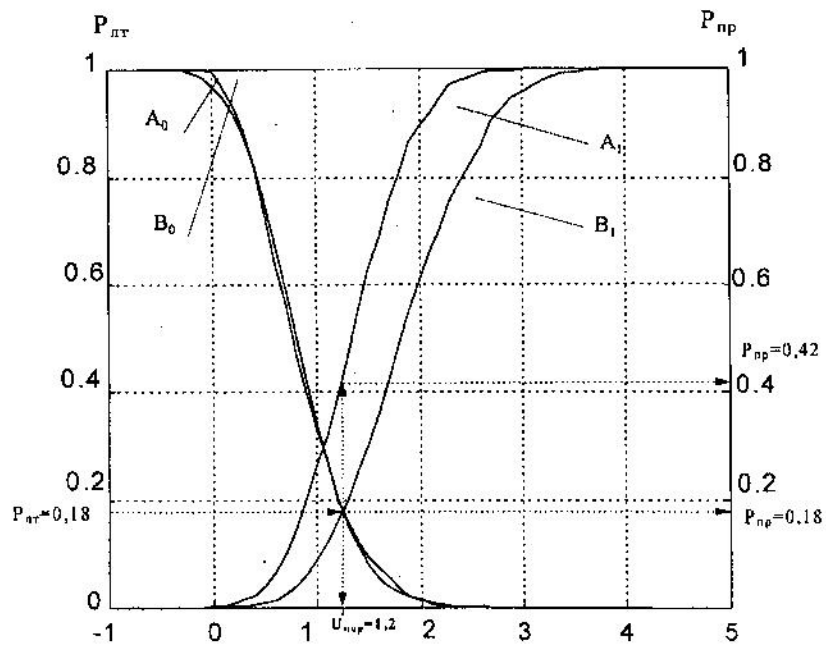


Фиг. 3





Фиг. 6



Фиг. 7

Заказ *Эдн* Подписное
 ФИПС, Рег. ЛР № 040921
 121858, Москва, Бережковская наб., д.30, корп.1,
 Научно-исследовательское отделение по
 подготовке официальных изданий

Отпечатано на полиграфической базе ФИПС
 121873, Москва, Бережковская наб., 24, стр.2
 Отделение выпуска официальных изданий