

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **047411**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.07.17

(51) Int. Cl. **H04B 7/08 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202392868

(22) Дата подачи заявки
2023.11.10

(54) **ЦИФРОВОЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЕ РАДИОПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО С УВЕЛИЧЕННОЙ СКОРОСТЬЮ СПАДА АМПЛИТУД ГАРМОНИК ОГРАНИЧЕННОГО СИГНАЛА**

(43) **2024.07.16**

(56) RU-C1-2548658

(96) **2023000183 (RU) 2023.11.10**

US-B2-8467483

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"КОНЦЕРН "СОЗВЕЗДИЕ" (RU)**

EP-B1-3783804

US-A1-20150372700

(72) Изобретатель:
**Маковий Владимир Александрович,
Ермаков Сергей Александрович,
Болгов Андрей Александрович (RU)**

(74) Представитель:
Семьин А.С. (RU)

(57) В изобретении устройство относится к области радиотехники и может быть использовано для создания перспективных цифровых радиоустройств с программируемой архитектурой (оптимизированных по энергопотреблению и стоимости) для обеспечения приема сигналов в режиме со стабилизацией среднего угла ограничения в условиях сложной электромагнитной обстановки. Технический результат - уменьшение энергопотребления и стоимости радиоприемного устройства, работающего в режиме с контролируемым углом ограничения за счет увеличения скорости спада гармоник ограниченного сигнала, что позволяет снизить требования к минимальной частоте дискретизации сигнала, не ухудшая основные динамические параметры аналого-цифрового тракта устройства - динамический диапазон и динамический диапазон по блокированию. Для этого в устройство между выходом АЦП (6) и входом цифрового down-конвертера (8) введен блок безынерционного нелинейного элемента (7), выполненный с возможностью цифровой коррекции характеристики преобразования АЦП с целью увеличения скорости спада гармоник ограниченного сигнала, второй выход блока безынерционного нелинейного элемента (7) соединен с входом измерителя эффективного угла ограничения (11).

B1

047411

047411

B1

Изобретение относится к области радиотехники и может быть использовано для создания перспективных цифровых радиоустройств с программируемой архитектурой (оптимизированных по энергопотреблению и стоимости) для обеспечения приема сигналов в режиме со стабилизацией среднего угла ограничения в условиях сложной электромагнитной обстановки.

Такие приемники описаны, например, в книгах "Cognitive radio technology", Second Edition, Elsevier Science & Technology Books, 2009. - p. 828, автора Bruce Alan Fette и "Software defined radio: enabling technologies", John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2002. - p. 442 автора W. Tuttlebee, Ed.

Процесс ограничения сигнала подробно рассмотрен, например, в статье "Динамические параметры аналого-цифрового тракта ДКМВ диапазона", автора Маковия В.А. на с. 18-20. В этой же статье введено понятие угла ограничения по аналогии с углом отсечки. Понятие эффективного угла ограничения сигнала вводится, в статье "Автоматическая регулировка восприимчивости в программируемом радиоприёмнике", автора Маковия В.А. на с. 30-34.

Наиболее перспективной структурной схемой для построения аналого-цифрового тракта (АЦТ) современного программно-определяемого радиосредства (SDR, software-defined radio) является тракт с аналого-цифровым преобразованием (АЦП) на радиочастоте. АЦТ без преобразования радиочастоты перед АЦП позволяет реализовать все потенциальные преимущества SDR технологии и когнитивного радио [1], обеспечивая рекордную избирательность при небольших отстройках помехи от частоты принимаемого сигнала. В литературе подобные АЦТ называют идеальными (ideal receiver scheme) [1, 2].

Большинство динамических параметров радиостанции определяется АЦТ. В работе [3] показано, что использование режима ограничения входного сигнала при аналого-цифровом преобразовании в линейных приёмных трактах возможно, и что режим ограничения позволяет улучшить основные динамические параметры АЦТ - динамический диапазон и динамический диапазон по блокированию.

При этом для обеспечения нормальной работы АЦТ, использующих режимы с ограничением сигнала при аналого-цифровом преобразовании, необходимо обеспечить низкую вероятность попадания помех, вызванных ограничением в полосу основного канала приёма. При этом полоса приёма считается поражённой, если в неё попадает хотя бы одна гармоника ограниченного сигнала с энергией, превышающей энергию шума в полосе приёма [3].

В известных устройствах-аналогах повышение частоты дискретизации увеличивает возможность осуществлять приём при ограничении сигнала в аналого-цифровом тракте за счёт уменьшения вероятности попадания в полосу принимаемого сигнала гармоник ограниченного блокирующего сигнала [3], но в то же время это приводит к увеличению энергопотребления и стоимости за счет необходимости применения высокопроизводительных микросхем аналого-цифровых преобразователей (АЦП), программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и цифровых сигнальных процессоров (ЦСП).

Актуальность снижения энергопотребления (за счет снижения требований к частоте дискретизации) определяется тем, что это позволяет снизить затраты на производство соответствующих изделий.

В качестве наиболее близкого аналога к предлагаемому устройству принято радиоустройство с типовой программно-определяемой модульной архитектурой, описанное в статье [4], принятое за прототип.

На фиг. 1 представлена структурная схема устройства-прототипа, где обозначено:

- 1 - блок входных цепей (ВЦ);
- 2, 4 - первый и второй полосовые фильтры (ПФ);
- 3 - аттенюатор (АТТ);
- 5 - предварительный усилитель (ПУ);
- 6 - аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 8 - цифровой down-конвертер (ЦК);
- 9 - умножитель (У);
- 10 - фильтр основной селекции (ФОС);
- 11 - измеритель эффективного угла ограничения (ИЗМ);
- 12 - компаратор (К);
- 13 - формирователь характеристики АРВ (Ф);

Устройство-прототип содержит последовательно соединенные блок входных цепей 1, первый полосовой фильтр 2, аттенюатор 3, второй полосовой фильтр 4, предварительный усилитель 5, аналого-цифровой преобразователь 6, цифровой down-конвертер 8, умножитель 9 и фильтр основной селекции 10, выход которого является выходом устройства. Кроме того, выход АЦП 6 через последовательно соединенные измеритель эффективного угла ограничения 11 и компаратор 12 соединен с входом формирователя характеристики АРВ 13, первый выход которого соединен со вторым входом аттенюатора 3. Второй выход формирователя характеристики АРВ 13 соединен со вторым выходом умножителя 9. Вход блока входных цепей 1 является входом устройства.

Устройство-прототип работает следующим образом.

Аддитивная смесь шума, принимаемого сигнала и блокирующей помехи поступает на вход устройства и проходит через входные цепи 1. Далее первый полосовой фильтр 2 пропускает на вход аттенюатора 3 сигналы, находящиеся в полосе рабочих частот. С выхода аттенюатора 3 смесь шума, принимаемого сигнала и блокирующей помехи поступает на второй полосовой фильтр 4, осуществляющий выделение

участка полосы рабочих частот. Как правило, ширина полосы пропускания второго полосового фильтра 4 не обеспечивает подавления помех, отстроенных на величину $\pm 10\%$ от частоты настройки и его влияние на амплитуду блокирующего сигнала можно не учитывать. Далее сигнал усиливается предварительным усилителем 5 и поступает на вход АЦП 6. Цифровые отсчеты с выхода АЦП 6 поступают на вход измерителя эффективного угла ограничения 11, в котором рассчитывается средний угол ограничения по соответствующим формулам [4]. Далее рассчитанный средний угол ограничения с выхода измерителя эффективного угла ограничения 11 поступает на компаратор 12, осуществляющий сравнение вычисленного значения угла ограничения с заранее заданным порогом. Величина порога устанавливается исходя из условия обеспечения соответствия мощности помех ограничения уровню собственных шумов АЦП [4]. При превышении сигналом порога формирователь характеристики АРВ 13 в соответствии с алгоритмом функционирования уменьшает коэффициент передачи аттенюатора 3, в случае длительного отсутствия превышения порога - увеличивает, как система обратной автоматической регулировки усиления. Формирователь характеристики АРВ 13 одновременно с управляющим сигналом аттенюатора формирует цифровой код на второй вход множителя 9, причём величина этого кода пропорциональна уменьшению коэффициента передачи аналоговой части тракта или ослаблению в аттенюаторе 3. Тогда после ослабления сигнала в аттенюаторе 3 и умножения цифрового сигнала множителем 9 на соответствующую величину суммарный коэффициент передачи аналого-цифрового тракта с входа на выход остаётся неизменным.

Цифровой сигнал с выхода АЦП 6 поступает на цифровой down-конвертор 8, осуществляющий перенос по частоте, предварительную фильтрацию и понижение частоты дискретизации сигнала в основной полосе приёма. С выхода цифрового down-конвертора 8 отсчеты сигнала поступают на первый вход множителя 9 и далее на цифровой фильтр основной селекции 10. С выхода фильтра основной селекции 10 отсчеты цифрового сигнала поступают на выход устройства. В зависимости от величины отстройки по частоте блокирующей помехи и сигнала их разделение (фильтрация) происходит в цифровом down-конвертере 8 или в фильтре основной селекции 10. Также при расчёте необходимой разрядности цифрового тракта учитывается максимально возможное увеличение амплитуды сигнала в множителе 9.

Недостатком устройства-прототипа является необходимость применения дорогостоящих компонентов (АЦП, ПЛИС, ЦСП) с высоким энергопотреблением, обусловленным высокими требованиями к частоте дискретизации, в свою очередь необходимой для обеспечения требований к низкой вероятности попадания продуктов ограничения в полосу основного канала приёма при работе в режиме со стабилизацией среднего угла ограничения.

Задачей изобретения является увеличение скорости спада гармоник ограниченного сигнала в режиме со стабилизацией среднего угла ограничения без ухудшения динамического диапазона и динамического диапазона по блокированию.

Для решения поставленной задачи в цифровое программно-определяемое радиоприемное устройство с увеличенной скоростью спада амплитуд гармоник ограниченного сигнала, содержащее последовательно соединенные блок входных цепей, первый полосовой фильтр, аттенюатор, предварительный усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а также последовательно соединенные цифровой down-конвертер, множитель и фильтр основной селекции, выход которого является выходом устройства, кроме того, последовательно соединенные измеритель эффективного угла ограничения, компаратор и формирователь характеристики АРВ, первый выход которого соединен со вторым входом аттенюатора, а второй вход - со вторым входом множителя, при этом вход блока входных цепей является входом устройства, согласно изобретению между выходом АЦП и входом цифрового down-конвертера введен блок безынерционного нелинейного элемента, выполненный с возможностью цифровой коррекции характеристики преобразования АЦП с целью увеличения скорости спада гармоник ограниченного сигнала, второй выход которого соединен с входом измерителя эффективного угла ограничения.

Функциональная схема заявляемого устройства представлена на фиг. 2, где обозначено:

- 1 - блок входных цепей (ВЦ);
- 2, 4 - первый и второй полосовые фильтры (ПФ);
- 3 - аттенюатор (АТТ);
- 5 - предварительный усилитель (ПУ) (драйвер АЦП);
- 6 - аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 7 - блок безынерционного нелинейного элемента (ББНЭ);
- 8 - цифровой down-конвертер (ЦК);
- 9 - множитель (У);
- 10 - фильтр основной селекции (ФОС);
- 11 - измеритель эффективного угла ограничения (ИЗМ);
- 12 - компаратор (К);
- 13 - формирователь характеристики АРВ (Ф).

Заявляемое устройство содержит последовательно соединенные блок входных цепей 1, первый полосовой фильтр 2, аттенюатор 3, второй полосовой фильтр 4, предварительный усилитель (драйвер АЦП) 5, аналого-цифровой преобразователь 6, блок безынерционного нелинейного элемента 7, цифровой

down-конвертер 8, умножитель 9 и фильтр основной селекции 10, выход которого является выходом устройства. Кроме того, второй выход блока безынерционного нелинейного элемента 7 через последовательно соединенные измеритель эффективного угла ограничения 11 и компаратор 12 соединен с входом формирователя характеристики АРВ 13, первый выход которого соединен со вторым входом аттенюатора 3. Второй выход формирователя характеристики АРВ 13 соединен со вторым входом умножителя 9. Вход блока входных цепей 1 является входом устройства.

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

Аддитивная смесь шума, принимаемого сигнала и блокирующей помехи поступает на вход устройства и проходит через блок входных цепей 1. Далее первый полосовой фильтр 2 пропускает на вход аттенюатора 3 сигналы, находящиеся в полосе рабочих частот. С выхода аттенюатора 3 смесь шума, принимаемого сигнала и блокирующей помехи поступает на вход второго полосового фильтра 4, осуществляющего выделение участка полосы рабочих частот. Как правило, ширина полосы пропускания второго полосового фильтра 4 не обеспечивает подавления помех, отстроенных на величину $\pm 10\%$ от частоты настройки и его влияние на амплитуду блокирующего сигнала можно не учитывать. Далее сигнал усиливается предварительным усилителем 5 и поступает на вход АЦП 6. С выхода АЦП 6 оцифрованные отсчеты подаются на вход блока безынерционного нелинейного элемента 7, где отсчеты преобразуются по заранее подготовленной таблице соответствия. За счет преобразования в блоке безынерционного нелинейного элемента 7 осуществляет цифровая коррекция при ограничении сигнала, повышая скорость спада амплитуд гармоник блокирующих сигналов.

Преобразованные отсчеты с выхода блока безынерционного нелинейного элемента 7 поступают на вход измерителя эффективного угла ограничения 11. Далее рассчитанный угол ограничения с выхода измерителя эффективного угла ограничения 11 поступает на вход компаратора 12, осуществляющего сравнение угла ограничения с заранее заданным порогом. Величина порога устанавливается исходя из условия обеспечения соответствия мощности помех ограничения и уровня собственных шумов аналого-цифрового тракта предлагаемого устройства [4]. При превышении сигналом порога формирователь характеристики АРВ 13 в соответствии с алгоритмом функционирования уменьшает коэффициент передачи аттенюатора 3, в случае длительного отсутствия превышения порога - увеличивает, как система обратной автоматической регулировки усиления. Формирователь характеристики АРВ 13 одновременно с управляющим сигналом аттенюатора 3 формирует цифровой код, подаваемый на второй вход умножителя 9, причём величина этого кода пропорциональна уменьшению коэффициента передачи аналоговой части тракта или ослаблению в аттенюаторе 3. Тогда после ослабления сигнала в аттенюаторе 3 и умножения цифрового сигнала умножителем 9 на соответствующую величину суммарный коэффициент передачи АЦТ устройства с входа на выход остаётся неизменным.

Преобразованные отсчеты с выхода блока безынерционного нелинейного элемента 7 попадают на вход цифрового down-конвертера 8, осуществляющего перенос по частоте, предварительную фильтрацию и понижение частоты дискретизации сигнала в основной полосе приёма. С выхода цифрового down-конвертера 8 отсчеты сигнала поступают на первый вход умножителя 9 и далее на вход цифрового фильтра основной селекции 10. С выхода фильтра основной селекции 10 отсчеты цифрового сигнала поступают на выход устройства. В зависимости от величины отстройки по частоте блокирующей помехи и сигнала их разделение (фильтрация) происходит в цифровом down-конвертере 8 или в фильтре основной селекции 10. Также при расчёте необходимой разрядности цифрового тракта учитывается максимально возможное увеличение амплитуды сигнала в умножителе 9. К несомненным преимуществам такой реализации устройства относится возможность создания программно-определяемых радиоприемных устройств, оптимизированных по энергопотреблению и стоимости с улучшенными динамическими параметрами АЦТ в режиме с контролируемым углом ограничения за счет увеличения скорости спада гармоник и соответствующей возможности по снижению частоты дискретизации при сохранении низкой вероятности попадания продуктов ограничения в полосу основного канала приёма. Также важной является возможность программной реализации предлагаемого решения в существующих программно-аппаратных радиоприемных устройствах, что позволяет оптимизировать по энергопотреблению существующие устройства.

Реализация блоков 1-6 и 8-13 заявляемого устройства аналогична блокам устройства-прототипа и может быть выполнена, в соответствии с монографией Пауль Хоровиц и Уинфилд Хилл "Искусство схемотехники" в 2-х т. Москва, Мир, 1986 г.

Реализация введенного блока безынерционного нелинейного элемента 7, является стандартной инженерной задачей, и может осуществляться в ПЛИС в виде простейшей таблицы соответствия кодов линейной характеристики преобразования и кодов скорректированной характеристики преобразования.

Приведем доказательство эффективности работы предлагаемого устройства.

Суть технического решения фактически заключается в цифровой коррекции характеристики преобразования АЦП с целью увеличения скорости спада гармоник ограниченного сигнала.

При определенных допущениях характеристика преобразования АЦП имеет квазилинейный участок, а также устранимые точки разрыва в точках, соответствующих уровню ограничения, как показано на фиг. 7. Если обеспечить плавное скругление характеристики в этих точках, то это позволит при задан-

ном угле ограничения (определяющим основные динамические параметры АЦТ: динамический диапазон и динамический диапазон по блокированию) обеспечить большую скорость спада гармоник ограниченного сигнала, что в свою очередь позволяет уменьшить вероятность попадания в полосу принимаемого сигнала гармоник ограниченного блокирующего сигнала при меньшей частоте дискретизации сигнала и, как следствие, позволяет снизить энергопотребление и стоимость устройства. Графическое сравнение зависимости уровня гармоник ограниченного сигнала от частоты приведено на фиг. 3 и 12.

Синтез характеристики с плавным скруглением в зоне ограничения может быть выполнен путем свертки идеальной характеристики преобразования АЦП с любой известной оконной функцией. Пример синтезированной характеристики преобразования с плавным скруглением в сравнении с линейной характеристикой представлен на фиг. 7 (вся характеристика) и фиг. 8 (скругление в зоне ограничения). Далее на основе синтезированной характеристики может быть сформирована таблица соответствия, реализующая функцию безынерционного нелинейного элемента. Пример таблицы соответствия представлен на фиг. 11.

Рассмотрим результаты имитационного моделирования, а также пример реализации предлагаемого технического решения на аппаратной SDR-платформе.

Имитационная модель. В модели формируется гармонический сигнал, имитирующий блокирующую помеху с частотой 1 кГц. Частота блокирующей помехи выбрана низкой для возможности наглядно наблюдать динамику изменения амплитуд гармоник сигнала при ограничении. Для имитации АЦП, сигнал дискретизируется с частотой $f_d=1228.8$ МГц и квантуется с использованием линейной характеристики преобразования с разрядностью 14 бит. Полученный сигнал отражает сигнал на выходе АЦП устройства-прототипа. Далее каждый отсчет цифрового сигнала преобразуется по таблице соответствий, которая имитирует БНЭ 7. Сигнал, полученный с выхода таблицы соответствий, отражает сигнал на выходе блока безынерционного нелинейного элемента.

На фиг. 10 представлен результат моделирования сигнала на выходе устройства-прототипа и предлагаемого устройства, если бы на вход был подан сигнал одинаковой амплитуды. Но такое сравнение некорректно, поскольку после преобразования сигналы будут иметь различные углы ограничения.

Поэтому на фиг. 9 представлен результат моделирования сигнала на выходе устройства-прототипа и предлагаемого устройства, которые имеют равный угол ограничения, но при этом на вход подавались сигналы различной амплитуды (1,015 и 1,0135135, что составляет менее 0,01 дБ). Таким изменением динамического диапазона можно пренебречь.

На фиг. 4 (в ближней зоне) и фиг. 5 (в дальней зоне) представлены спектры сигналов на выходе имитационной модели с БНЭ 7 и без него. На спектрах отчетливо видно увеличение скорости спада гармоник в сигнале при моделировании предлагаемого устройства относительно модели устройства-прототипа.

Аппаратная SDR-платформа. Для реализации предлагаемого технического решения применялась аппаратная SDR-платформа с приемным трактом, построенным на базе АЦП Analog Devices AD9691-1250 с частотой дискретизации $f_d=1228.8$ МГц. Для проведения экспериментов было подготовлено две управляющих программы: одна реализующая структурную схему работы устройства-прототипа, и вторая реализующая предлагаемое решение. На вход приемного тракта аппаратной SDR-платформы с генератора подается сигнал, имитирующий блокирующую помеху частотой 46.1053 МГц. Так же, как и в модели путем изменения уровня входного сигнала обеспечивается равный угол ограничения на выходе сравниваемых устройств.

На фиг. 6 представлены спектры сигналов, на которых маркерами отмечены гармоники ограниченного сигнала. Анализ показывает снижение абсолютной величины уровня гармоник ограниченного сигнала, что подтверждает результаты моделирования.

В рассматриваемом случае эмпирическим путем определено, что частота дискретизации может быть снижена до $f_d=614.4$ МГц, что позволяет использовать более доступные по цене микросхемы AD9680-820 или AD9680-1000 с меньшим энергопотреблением, а также снизить частоту дискретизации последующих стадий обработки на ПЛИС и ЦСП.

Следовательно, в заявляемом радиоприемном устройстве снижено энергопотребление и стоимость основных компонентов устройства за счет возможности снижения частоты дискретизации преобразования и последующей обработки сигнала, без увеличения вероятности попадания продуктов ограничения в полосу основного канала приёма за счет увеличения скорости спада гармоник блокирующих сигналов и не ухудшая основные динамические параметры АЦТ - динамический диапазон и динамический диапазон по блокированию в режиме с контролируемым углом ограничения.

Таким образом, достигаемый технический результат - уменьшение энергопотребления и стоимости радиоприемного устройства без ухудшения динамических параметров АЦТ.

Литература.

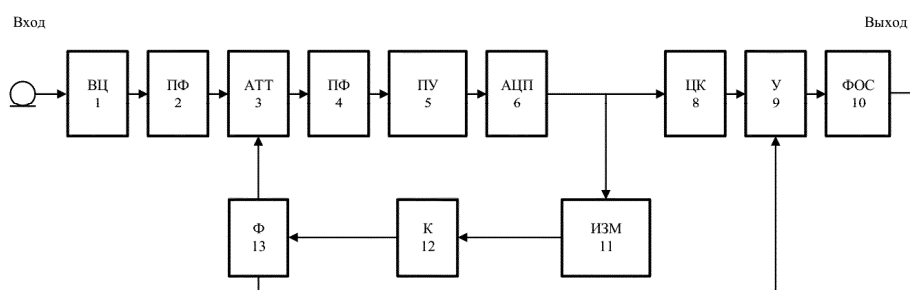
1. Bruce Alan Fette, Cognitive radio technology - Second Edition - Elsevier Science & Technology Books, 2009. - p. 828.
2. W. Tuttlebee, Ed., Software defined radio: enabling technologies - John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2002. - p. 442.

3. Маковий В.А. Динамические параметры аналого-цифрового тракта ДКМВ диапазона// Радиотехника, 2012. - № 8 - с. 17-27.

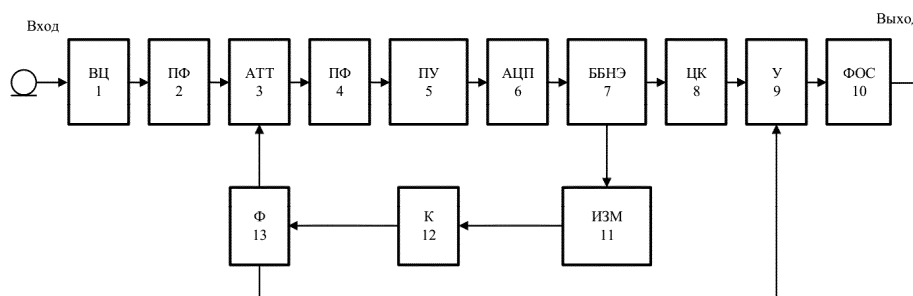
4. Маковий В.А. Автоматическая регулировка восприимчивости в программируемом радиоприёмнике// Радиотехника, 2013. - № 3 - с. 026-036.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

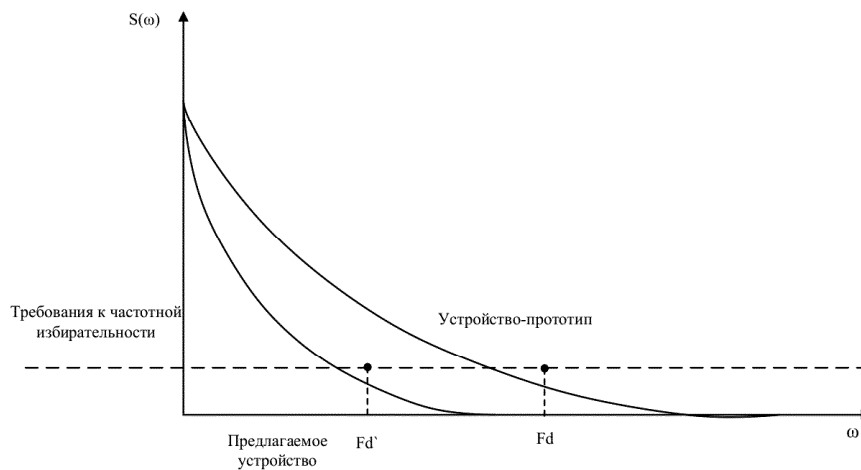
Цифровое программно-определяемое радиоприемное устройство с увеличенной скоростью спада амплитуд гармоник ограниченного сигнала, содержащее последовательно соединенные блок входных цепей, первый полосовой фильтр, аттенюатор, предварительный усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а также последовательно соединенные цифровой down-конвертер, умножитель и фильтр основной селекции, выход которого является выходом устройства, кроме того, последовательно соединенные измеритель эффективного угла ограничения, компаратор и формирователь характеристики АРВ, первый выход которого соединен со вторым входом аттенюатора, а второй вход - со вторым входом умножителя, при этом вход блока входных цепей является входом устройства, отличающееся тем, что между выходом АЦП и входом цифрового down-конвертера введен блок безынерционного нелинейного элемента, выполненный с возможностью цифровой коррекции характеристики преобразования АЦП с целью увеличения скорости спада гармоник ограниченного сигнала, второй выход которого соединен с входом измерителя эффективного угла ограничения.



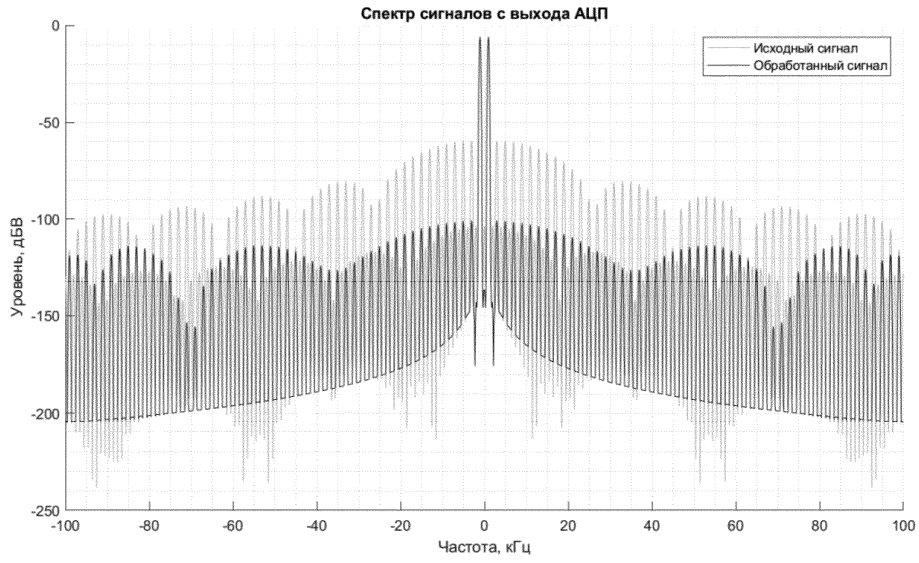
Фиг. 1



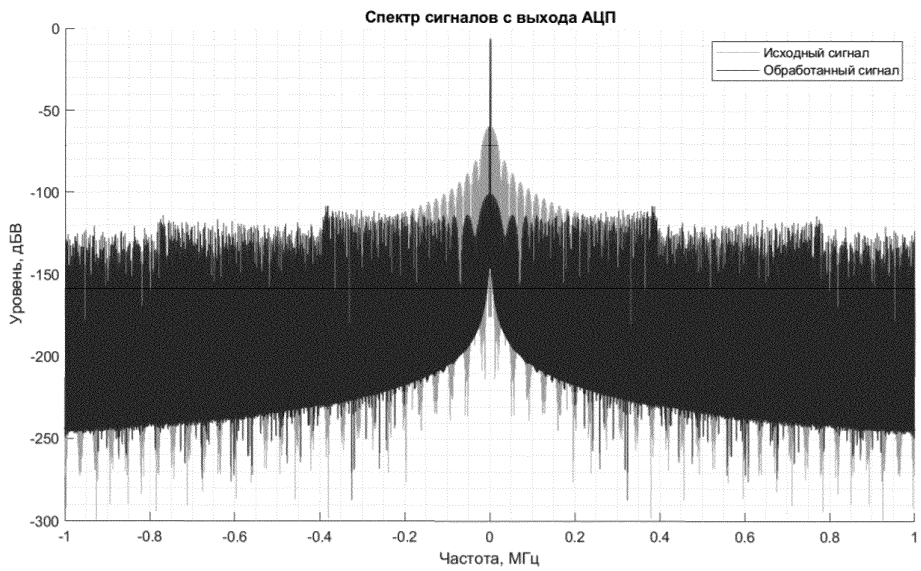
Фиг. 2



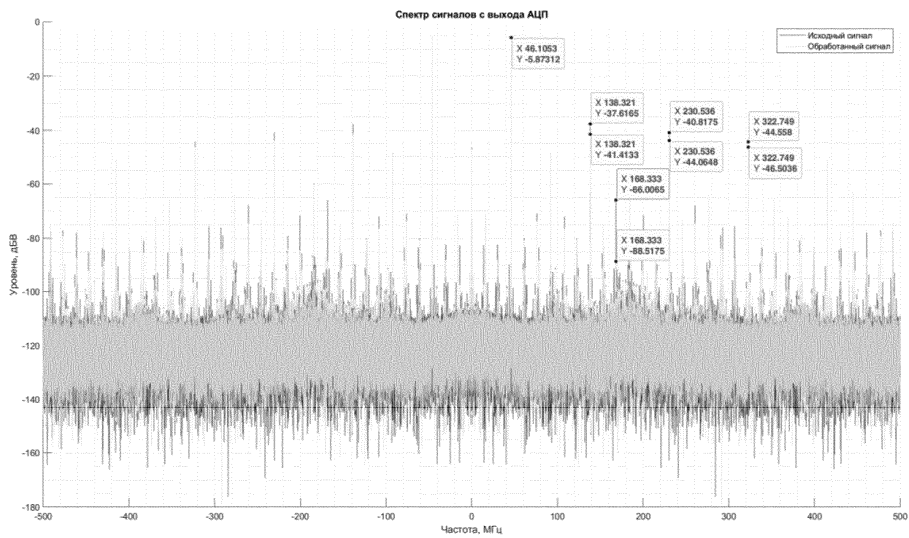
Фиг. 3



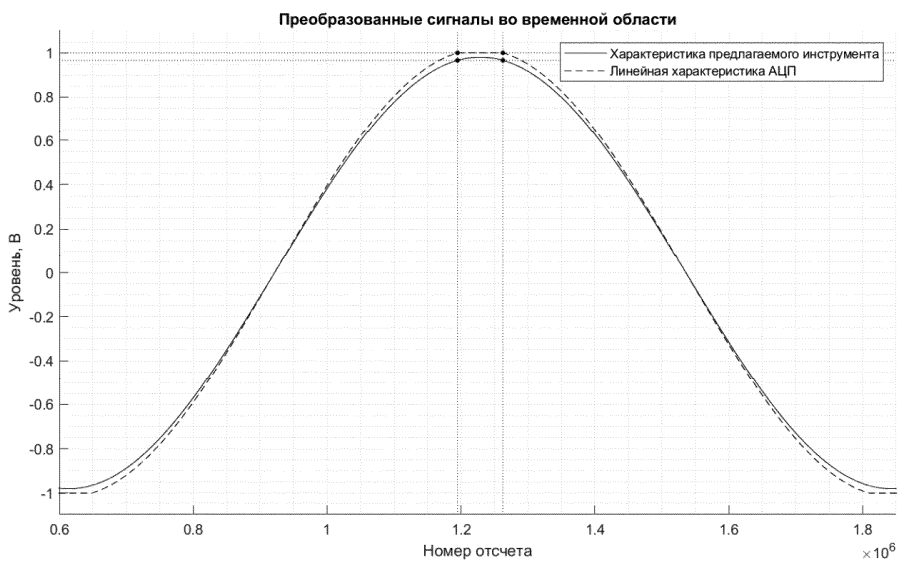
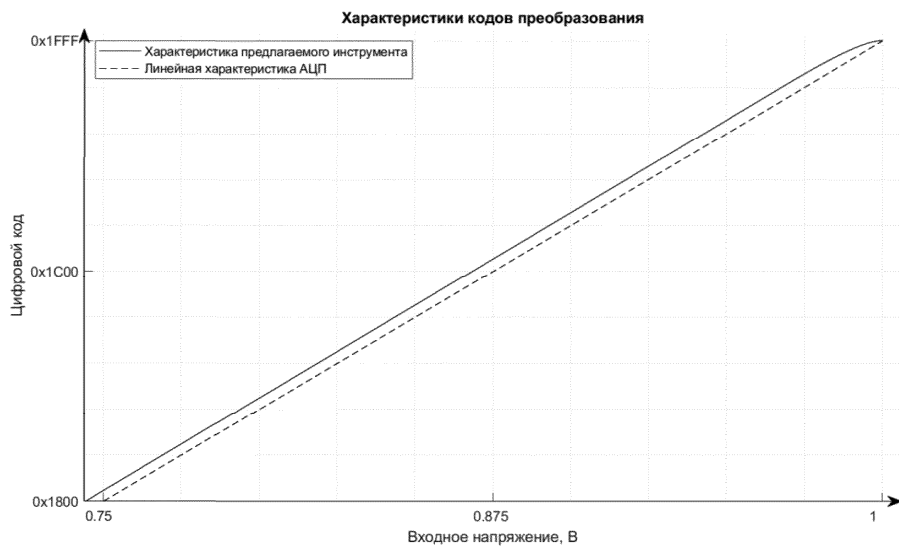
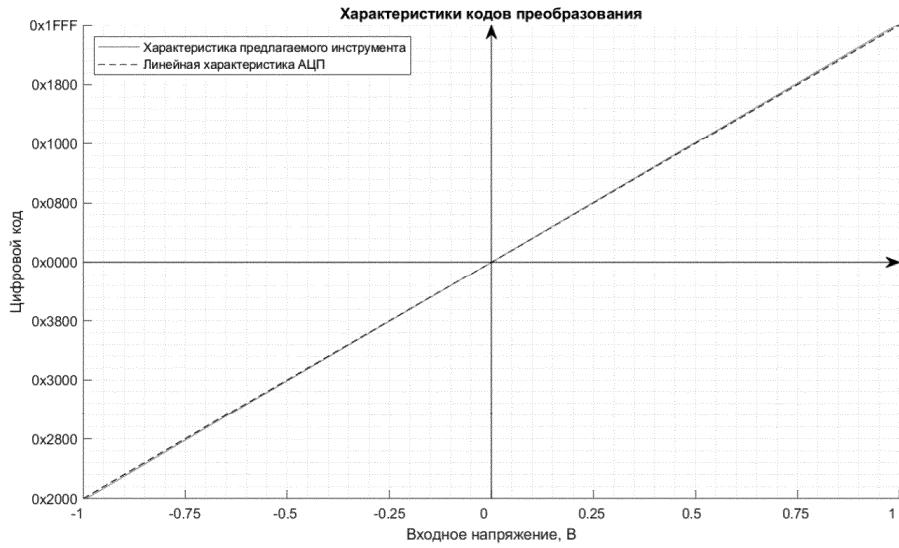
Фиг. 4

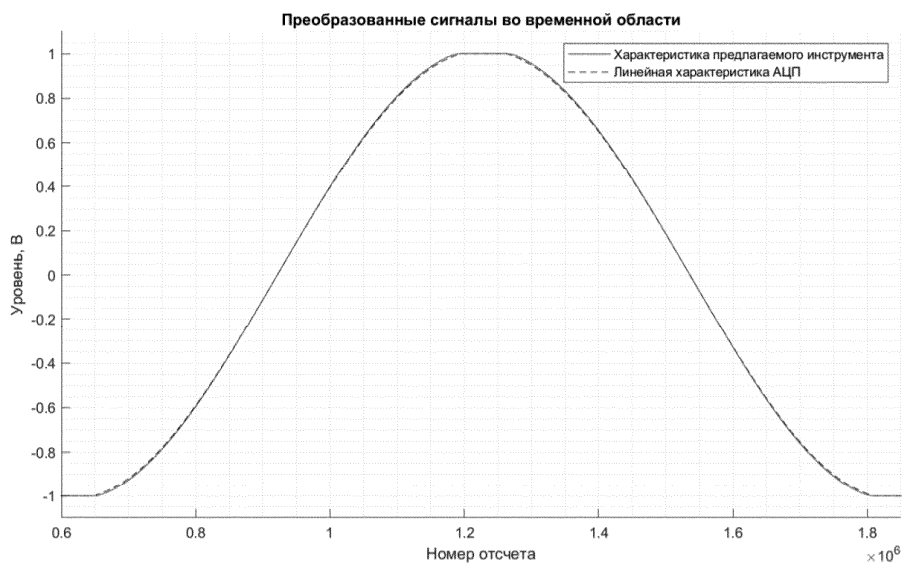


Фиг. 5



Фиг. 6



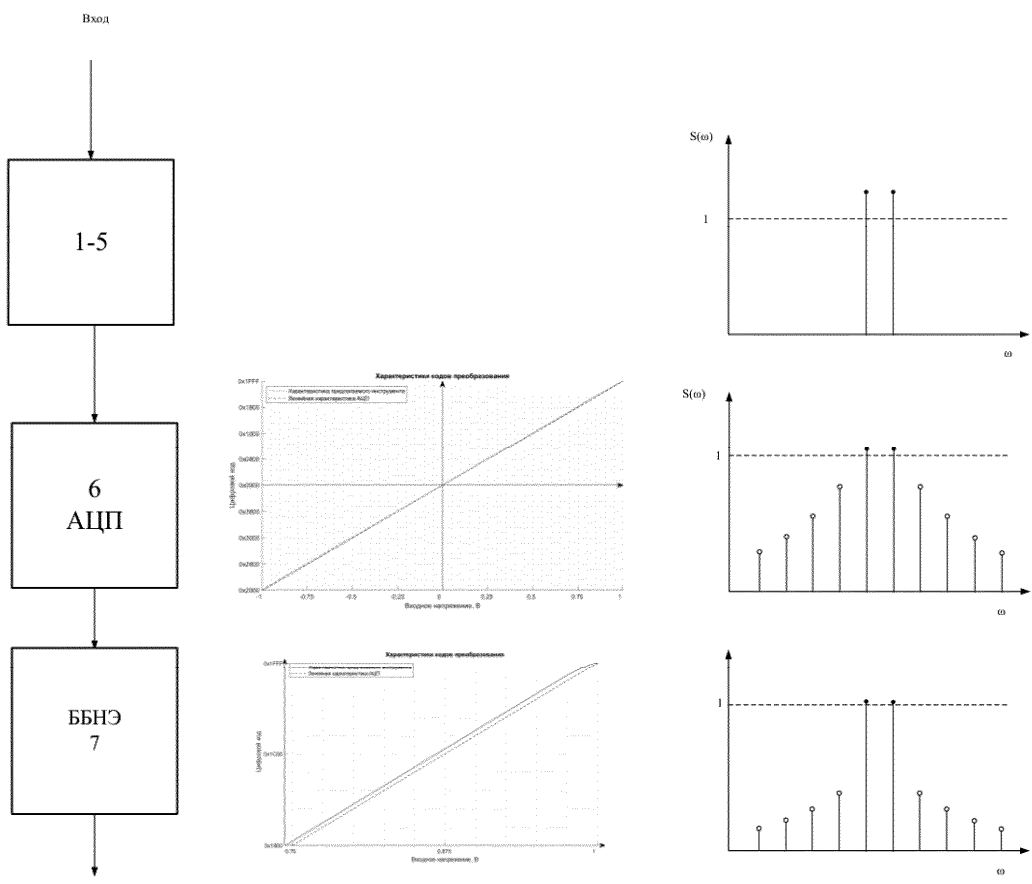


Фиг. 10

Напряжение входного сигнала, В	Код линейной характеристики АЦП	Код нелинейной характеристики
0.999 88	0x1FFF	0x1FFF
0.999 76	0x1FFE	0x1FFF
...
0.87524	0x1C02	0x1C3A
0.87512	0x1C01	0x1C39
0.875 00	0x1C00	0x1C38
0.874 88	0x1BFF	0x1C37
0.874 76	0x1BFE	0x1C36
...
0.00012	0x0001	0x0001
0	0x0000	0x0000
- 0.00012	0x3FFF	0x3FFF
...
- 0.99988	0x2001	0x2000
- 1.00000	0x2000	0x2000

Пример таблицы соответствия для реализации безынерционного нелинейного элемента

Фиг. 11



Фиг. 12