

УДК 621.391.037.3

А. А. Симушин, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
Д. Ю. Полин, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
М. А. Бояршинов, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НОСИМЫХ КВ-УКВ РАДИОСТАНЦИЙ*

Рассматривается организация ретрансляции сигналов и построение обнаружителя на базе носимых радиостанций КВ-УКВ диапазонов.

Ключевые слова: ретрансляция, носимые КВ-УКВ радиостанции, обнаружение сигналов.

Для обеспечения качественной связи на трассах большой протяженности используют ретрансляторы. Обычно это стационарные и передвижные установки с мощным передатчиком, располагающиеся в зонах уверенного приема. Однако актуальна задача организации ретрансляции и с помощью маломощных носимых радиостанций КВ-УКВ диапазонов с мощностью порядка 10 Вт. Причины актуальности такой задачи следующие:

- в КВ-диапазоне сигналы маломощных радиостанций при отражении от ионосферы могут приниматься на больших расстояниях (тысячи километров);

- в КВ-диапазоне существует «мертвая зона», где земная волна уже затухает, а сигналы, отраженные от ионосферы, еще не принимаются. Проблема «мертвой зоны» может решаться за счет «вынесенного» ретранслятора;

- при чрезвычайных ситуациях и в специальной связи часто необходимо обеспечить связь между абонентами с различными радиосредствами, которые работают в различных частотных диапазонах и используют различные виды модуляции. Ретранслятор в этом случае должен обеспечивать преобразование вида модуляции и перенос информационного сигнала по частотному диапазону;

- передача информации носимыми УКВ-радиостанциями возможна только в зоне прямой видимости. При обеспечении приема в УКВ- и передаче в КВ-диапазоне ретранслятор позволяет абоненту с УКВ-радиостанцией установить связь с абонентом, находящимся на большем от него расстоянии;

- ретрансляция с помощью носимых радиостанций может быть оперативно организована в труднодоступных местах.

В настоящей работе рассмотрена организация ретранслятора на базе двух носимых КВ-УКВ радио-

станций. Особое внимание уделено решению задачи обнаружения сигнала.

Организация ретранслятора на базе носимых КВ-УКВ радиостанций

Ретрансляция организуется с помощью двух носимых КВ-УКВ радиостанций, соединенных между собой, например, по стыку С1-ТЧ, что обеспечивает обмен низкочастотными сигналами. Необходимость использования двух радиостанций обусловлена тем, что у большинства носимых радиостанций часть трактов приема и передачи совмещена, и организация дуплексного режима работы затруднительна.

При выборе режима работы ретранслятора должен быть указан диапазон и класс излучения, с которым работает каждая из радиостанций. Возможны различные сочетания режимов. Радиостанции имеют одинаковый приоритет.

Радиостанции могут находиться: а) обе в режиме приема при ожидании поступления сигналов; б) одна в режиме передачи, другая в режиме приема непосредственно при ретрансляции сигнала. Радиостанции не должны одновременно переходить в режим передачи.

Наличие сигнала определяется по энергетическим критериям. Порог срабатывания должен быть рассчитан на «хороший» сигнал. При принятии решения о наличии сигнала радиостанция становится управляющей. На управляемую радиостанцию подается команда перейти в режим передачи. Поступающий сигнал обрабатывается и пересылается на управляемую радиостанцию. Обработка заключается в выделении низкочастотного модулирующего сигнала, который на управляемой радиостанции используется в качестве модулирующего, возможно, в другом классе излучения и диапазоне. После того, как сигнал на входе перестает обнаруживаться, на управ-

ляемую радиостанцию подается сигнал переключения в режим приема.

Алгоритм работы обнаружителя

Одним из важнейших элементов ретранслятора является обнаружитель сигнала. Он должен обеспечить уверенное обнаружение принимаемого сигнала и одновременно исключить ложные срабатывания.

Обнаружение сигнала предлагается осуществлять за счет измерения отношения сигнал/шум (ОСШ).

Измерение основано на сравнении мощности сигнала до и после фильтрации. Так как фильтрация – неотъемлемая часть любого алгоритма обработки сигналов, обнаружение может быть реализовано без значительных вычислительных затрат. При практической реализации ретранслятора обнаружитель был встроен в тракт обработки на этапе децимации сигнала, как показано на рис. 1, а. Здесь Ф1 – тракт приемника; Ф2 – цифровой децимирующий фильтр; УПР – устройство принятия решения.

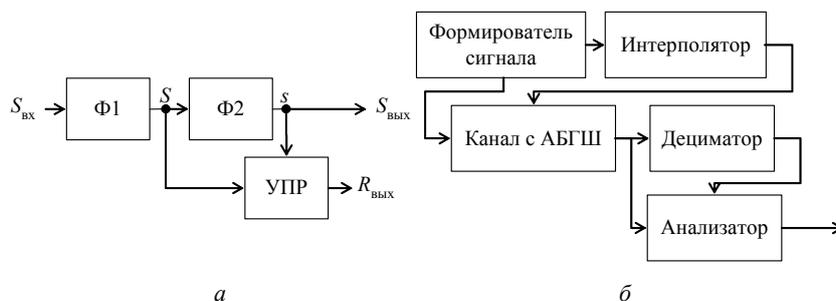


Рис. 1. Функциональные схемы моделируемых устройств:

а – функциональная схема обнаружителя сигнала; б – функциональная схема модели системы передачи

Мощность аддитивной смеси сигнала и помех на входе устройства и на выходе дециматора определяются выражениями

$$P_{вх} = \frac{\sum_{i=1}^L S_i^2}{L}, \quad P_{вых} = \frac{\sum_{i=1}^l s_i^2}{l}, \quad (1)$$

где S_i – значения отсчетов сигнала, поступающего на вход децимирующего фильтра; L – количество отсчетов сигнала в интервале анализа; s_i – значения отсчетов сигнала на выходе децимирующего фильтра; l – количество отсчетов децимированного сигнала в интервале анализа.

Отношение полученных мощностей обозначим как G :

$$G = \frac{P_{вх}}{P_{вых}} = \frac{P_S + N_{вх}}{P_S + N_{вых}}, \quad (2)$$

P_S – мощность сигнала; $N_{вх}$, $N_{вых}$ – мощность шума на входе и выходе фильтра.

Выражение (2) не учитывает искажения сигнала при прохождении через фильтр. При более точном анализе потребуется учет снижения мощности из-за неравномерности АЧХ и фазовых искажений [1]. Обычно они незначительны.

Связь мощностей шумов на входе и выходе фильтра определяется как

$$N_{вх} = K \cdot N_{вых}. \quad (3)$$

Коэффициент K зависит от конструктивных особенностей приемника и определяет долю шумов, проходящих через фильтр. Предполагается, что

$$K = \frac{\Pi_{Ф1}}{\Pi_{Ф2}}, \quad (4)$$

где $\Pi_{Ф1}$ – шумовая полоса тракта приемника предшествующая дециматору; $\Pi_{Ф2}$ – шумовая полоса фильтра дециматора.

На основании вышесказанного из выражения (2) можно выразить величину ОСШ на выходе фильтра Ф1 (5). Значение ОСШ η выражено в децибелах:

$$\eta = 10 \lg \left(\frac{P_S}{N_{вых}} \right) = 10 \lg \left(\frac{K - G}{G - 1} \right). \quad (5)$$

Результаты моделирования

Проверка полученных соотношений проводилась на модели системы передачи (рис. 1, б), реализованной в программном пакете Matlab [2]. Кроме того, проведены эксперименты на реальных радиостанциях.

В основном моделировалась ретрансляция сигналов типа OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) [3]. Моделируемый сигнал содержал 74 поднесущих в полосе частот от 300 Гц до 3,4 кГц. Частота дискретизации при формировании сигнала была 8 кГц. В интерполяторе осуществлялось повышение частоты дискретизации. В имитатор канала введены нормировочный множитель, чтобы заданное ОСШ соответствовало полосе сигнала, и управляемая задержка. Устройство децимации соответствовало устройствам, используемым в реальных радиостанциях КВ-диапазона. Имитировалась передача на одной боковой полосе.

На рисунке 2, а для различных ОСШ показано изменение оцениваемого показателя η во времени, при появлении и исчезновении сигнала. Сигнал появляется на третьем интервале анализа и заканчивается на восемнадцатом. При появлении сигнала происходит резкое возрастание η . Таким образом, обнаружение с использованием предложенной методики является возможным.

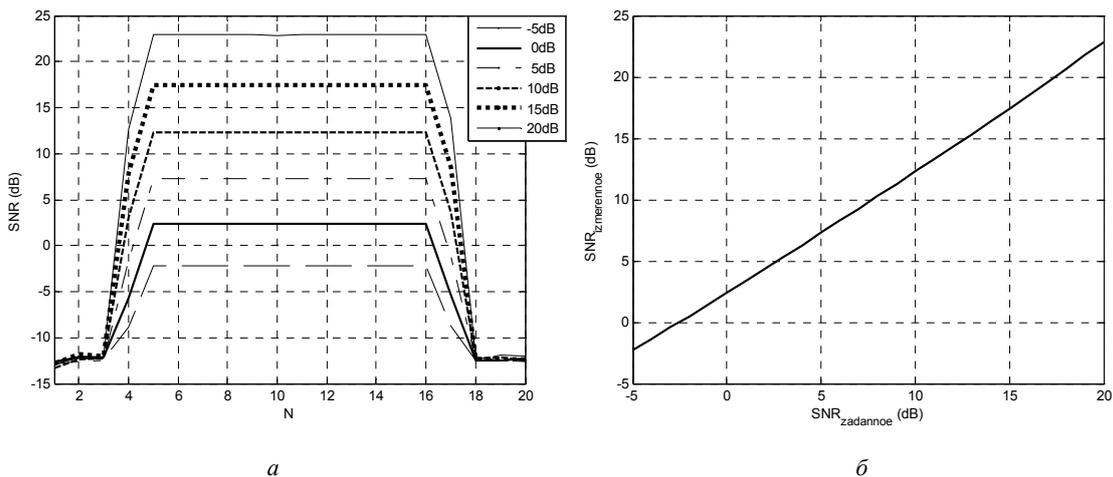


Рис. 2. Результаты моделирования:

a – зависимость измеренного ОСШ от номера интервала анализа; b – зависимость измеренного ОСШ от заданного

Однако значения заданного и полученного в результате измерений и вычислений по данной методике ОСШ отличаются (рис. 2, б). Так как их зависимость линейна, показатель η является аналогом ОСШ, но требуется поправка около 2,5 дБ. Величина поправки зависит от конструктивных особенностей радиостанции. Кроме того, точность ее определения снижается при отклонении параметров шума от белого. Поскольку предсказать величину поправки в реальных условиях невозможно, рекомендуется при принятии решения о наличии сигнала использовать не абсолютное значение измеренного ОСШ, а изменение мощности сигнала относительно шумов в пределах одного или двух интервалов анализа.

При моделировании также было выявлено, что децимация снижает точность вычисления значения мощности (1). Как следствие, результат вычислений выражения (5) может принимать недопусти-

мые значения. Необходимо ввести ограничение для G . Отношение G должно находиться в пределах от 1 до K .

Для проверки универсальности методики было проведено моделирование и для других сигналов. На рис. 3, а приведена временная реализация частотно-манипулированного сигнала. Моделирование проводилось при ОСШ 5 дБ.

На рисунке 3, б видно, что при прерывании сигнала, как и положено, происходит снижение η . Но это может приводить и к ложным переключениям радиостанций. Быстрое обнаружение сигнала требует коротких интервалов анализа. Для стабильного приема требуются длинные интервалы, которые снижают вероятность потери сигнала при изменении его уровня. Выходом является изменение длительности интервала анализа в зависимости от режима работы – обнаружение или прием.

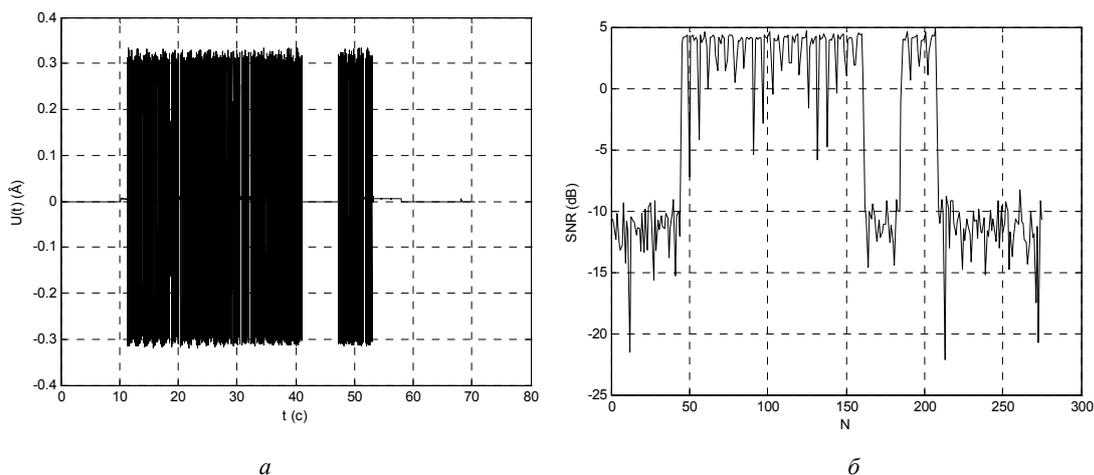


Рис. 3. Временные зависимости сигнала FSK: a – временная зависимость анализируемого сигнала FSK; b – зависимость вычисленного ОСШ от номера интервала анализа для сигнала FSK при заданном ОСШ 5 дБ

На рисунке 4 показан пример обнаружения речевого сигнала. Критерием обнаружения является увеличение мощности сигнала на 10 дБ за время, не

превышающее 200 мс. При эксперименте ретранслятор воспроизводил принимаемый сигнал лишь при наличии команды от обнаружителя сигнала.

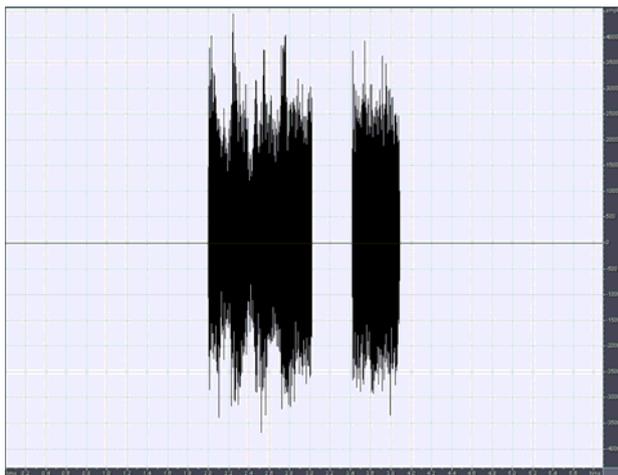


Рис. 4. Обнаружение речевого сигнала

По результатам экспериментов и моделирования рекомендуется устанавливать интервал анализа при обнаружении сигнала 50 с, а после обнаружения – увеличивать до 1 с. В этом случае потери речи при обнаружении незначительны и обеспечивается защита от кратковременных пауз в сигнале.

Практическая реализация накладывает ряд дополнительных ограничений. Во-первых, дециматоры рассчитаны на прием сигналов с одной боковой полосой. Вторая боковая полоса и несущая при их наличии воспринимаются как шум, по мощности пре-

вышающий уровень сигнала в полосе фильтра. Во-вторых, использование целочисленной арифметики при вычислении (1) может привести к переполнению разрядной сетки при длительных интервалах анализа, что требует введения в алгоритм дополнительных способов защиты.

Выводы

Используемый алгоритм позволяет достаточно точно определять значение отношения сигнал/шум, однако при практической реализации точность снижается следующими факторами: децимация сигнала, использование при расчетах целочисленной арифметики, неопределенность параметров приемного тракта, отклонение параметров шума от белого. Для принятия решения рекомендуется использовать дифференциальный показатель, отслеживающий изменения ОСШ на заданном временном интервале. Временные интервалы при обнаружении и приеме рекомендуется выбирать независимо, исходя из свойств сигналов.

Библиографические ссылки

1. Симушин А. А., Богданов А. А. Оценка группового времени задержки в тракте обработки широкополосного сигнала // Вестник ИжГТУ. – 2008. – № 2. – С. 90–92.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 608 с.
3. Прокис Д. Ж. Цифровая связь; пер. с англ. / под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000.

A. A. Simushin, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

D. Yu. Polin, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

M. A. Boiarshinov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Organization of Signal Relaying Using Portable HF-VHF Radio Stations

The paper considers organization of signal relaying and, in particular, development of the detector based on low-power portable HF-VHF radio.

Key words: relaying, portable HF-VHF radio stations, signal detection.

УДК 621.3.015.33

П. А. Ушаков, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

С. А. Широких, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛЬ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТОРА КАК ЭЛЕМЕНТА С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Рассмотрены принципы создания модели алюминиевого электролитического конденсатора как элемента с распределенными параметрами (АЭК-ЭРП) и идентификации ее параметров. Проведено сравнение частотных характеристик импеданса предложенной модели с частотными характеристиками образцов АЭК.

Ключевые слова: алюминиевый электролитический конденсатор, элементы с распределенными параметрами, схема замещения, идентификация параметров модели.

Схемотехнические модели электронных компонентов радиоэлектронных устройств широко применяются на практике в современ-

ных системах автоматизированного проектирования. Основными требованиями, предъявляемыми к таким моделям, являются: адекватность, точность, универ-