

УДК 621.396.96

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМОДУЛЯТОРА
КОСТАСА
С БЕЗМУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ
ОБРАБОТКОЙ***Кравцов Е. В., Лихоманов М. О.,
Рюмшин Р. И., Татаринцев С. В.*

Военный учебно-научный центр Военно-
Воздушных Сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Российская
Федерация

evgenijkravtsov@mail.rulikhomanovmikhail@mail.rupurple2013@icloud.com

Статья посвящена исследованию демодулятора фазомани-пулированного сигнала на основе известной схемы Костаса, реализованного на операции пересечения, введенной для повышения функциональной устойчивости. Путем моделирования произведена оценка принципиальной возможности обеспечения режима функциональной устойчивости указанного демодулятора. Получена его амплитудная характеристика и ее аппроксимация.

Ключевые слова: функциональное поражение, функциональная устойчивость, демодуляция фазоманипулированного сигнала, безмультипликативная обработка сигналов.

Введение. Анализ литературы по теме информационного противоборства и радиоэлектронной борьбы, а также сведений о вооруженных конфликтах последних лет показывает, что в настоящее время достаточно широкое применение имеет оружие функционального поражения, применение которого в отношении радиоэлектронных средств (РЭС), как правило, не приводит к катастрофическим физическим разрушениям, однако мощные широкополосные импульсные помехи существенно нарушают функционирование чувствительных к воздействию такого рода помех элементов и узлов приемных трактов радиоприемных устройств [1].

Особенностью защитных мер в таком случае является необходимость обеспечения широкого динамического диапазона и возможности управления им в зависимости от режима работы (функциональной устойчивости или линейного). Высокая скорость нарастания амплитуды сверхвысокочастотных помех требует уменьшения времени перехода элементов и узлов тракта в режим функциональной устойчивости, с чем многие известные системы защиты справляются не всегда удовлетворительно. В этих условиях в ряде случаев задача повышения функциональной устойчивости РЭС может решаться путем специальной нелинейной обработки в приемном тракте.

UDC 621.396.96

**ANALYSIS OF COSTAS DEMODULATOR
WITH NON-MULTIPLICATIVE
PROCESSING***Kravtsov E. V., Likhomanov M. O.,
Ryumshin R. I., Tatarintsev S. V.*

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air
Force Academy», Voronezh, Russian Federation

evgenijkravtsov@mail.rulikhomanovmikhail@mail.rupurple2013@icloud.com

The article is devoted to the analysis of a demodulator of a phase-shift signal based on the well-known Costas circuit, implemented on an intersection operation, which is added to increase functional stability. By modeling, the authors have made an assessment of the principle possibility of ensuring the functional stability for the specified demodulator. The authors have obtained the amplitude characteristic of the demodulator and its approximation.

Keywords: functional damage, functional stability, phase-shift signal demodulation, non-multiplicative signal processing.

Основная часть. Расширение возможностей нелинейной обработки можно ожидать от применения при обработке сигналов процедуры пересечения \cap , которая имеет вид [2]:

$$z = x \cap y = 0,5 \cdot (|x + y| - |x - y|), \quad (1)$$

где x и y — входные величины (функции, сигналы) произвольного вида или их дискретные значения в заданные моменты времени, ограничения на которые не накладываются. Одна из входных функций может являться опорным сигналом, где под опорным следует понимать компоненты импульсной характеристики в случае согласованной фильтрации, коэффициенты круговой или цифровой свертки, либо вейвлет коэффициенты, коэффициенты цифрового фильтра и др.

Из выражения (1) видно, что данная операция сводится к выделению меньшего по абсолютной величине из входных значений, при этом знак результата определяется произведением знаков входных величин. При этом значения модуля большего и модуля меньшего поглощаются и результат от поглощенных значений не зависят. В связи с этим выражение (1) удобнее записать в виде:

$$z = 0,5 \cdot \text{sign}x \cdot \text{sign}y \cdot \min(|x|, |y|), \quad (2)$$

В плане повышения функциональной устойчивости практическое значение приобретает именно это свойство выбора меньшего или свойство нелинейности. В то же время операция пересечения ведет себя как линейный управляемый элемент по отношению к меньшему по модулю входному значению, что позволяет при необходимости легко управлять границей нелинейности. Тогда любое устройство приемного тракта, использующее процедуру (2), приобретает функционально (внутренне) присущее свойство управляемой нелинейности.

Рассмотрим обозначенное положение в приложении к демодулятору. В технике связи находят широкое применение демодуляторы фазоманипулированных сигналов (ФМИ) [3]. Подобный демодулятор может быть реализован на процедуре пересечения. На рис. 1 показан фрагмент такого демодулятора применительно к одному каналу широко распространенного демодулятора Костаса, используемого при приеме одночастотных псевдослучайных сигналов.

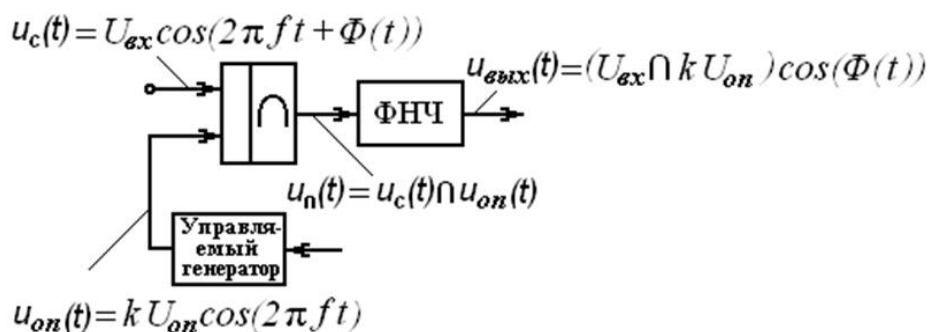


Рис. 1. Фрагмент демодулятора

На рисунке входной ФМИ сигнал $u_c(t) = U_{ex} \cos(2\pi ft + \Phi(t))$ пересекается в соответствующем введенном блоке с когерентным опорным сигналом управляемого генератора $u_{on}(t) = k U_{on} \cos(2\pi f t t)$. После этого взаимодействия $u_{\cap}(t) = u_c(t) \cap u_{on}(t)$ проходит через фильтр нижних частот (ФНЧ), а на выходе фильтра воспроизводится закон фазовой манипуляции в виде $u_{вых}(t) = (U_{ex} \cap k U_{on}) \cos(\Phi(t))$.

Если зафиксировать амплитуду опорного сигнала в виде $k \cdot U_{on}$, демодулятор приобретает свойство функциональной устойчивости, поскольку амплитуда выходного сигнала будет неизменной при выполнении условия $U_{ex} \geq k \cdot U_{on}$. При этом амплитуда выходного сигнала предлагаемого демодулятора описывается соотношением $U_{вых} = U_{ex} \cap k \cdot U_{on}$. Процесс демодуляции во временной области отражает рис. 2.

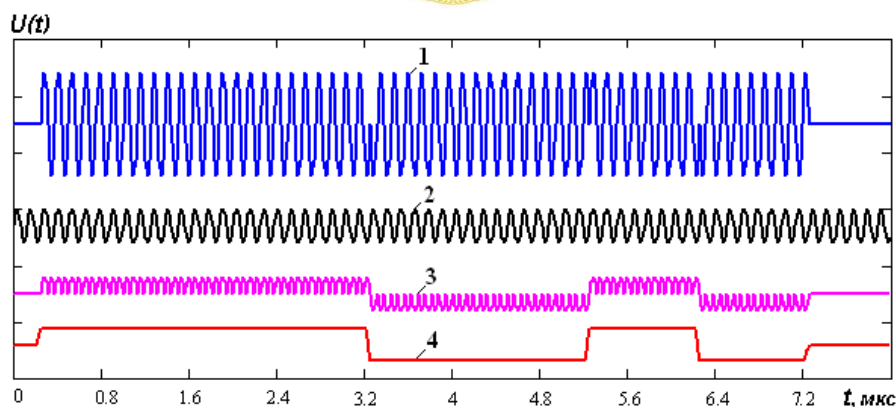


Рис. 2. Процесс демодуляции во временной области

Эпюры на рис. 2 соответствуют результатам моделирования работы схемы на рис. 1. Здесь показан процесс демодуляции входного ФМИ на основе 7-ми элементного кода Баркера длительностью 7 мкс, несущей частоты 8 МГц, с длительностью дискреты 1 мкс, амплитудой $U_{ex} = 4\text{В}$ (эпюра 1). В качестве опорного колебания используется когерентный непрерывный гармонический сигнал той же частоты и амплитудой $U_{on} = 1\text{В}$ (эпюра 2). Коэффициент включения опорного сигнала принят равным единице ($k = 1$). Сигнал на выходе введенного блока соответствует преобразованию (1) и обозначен эпюрой 3. Прошедший через ФНЧ, этот сигнал повторяет закон фазовой манипуляции (эпюра 4). На рисунке сохранены полученные при моделировании соотношения амплитуд. Как видно из рисунка, амплитуда выходного сигнала равна амплитуде опорного, несмотря на четырехкратное превышение амплитуды входного сигнала. То есть демодулятор работает в данном случае в режиме функциональной устойчивости.

Амплитудная характеристика демодулятора приведена на рис. 3. Эта характеристика свидетельствует о наличии свойства функциональной устойчивости демодулятора ФМИ сигналов и возможности управлять этим свойством в широких пределах путем изменения напряжения опорного сигнала и коэффициента включения k .

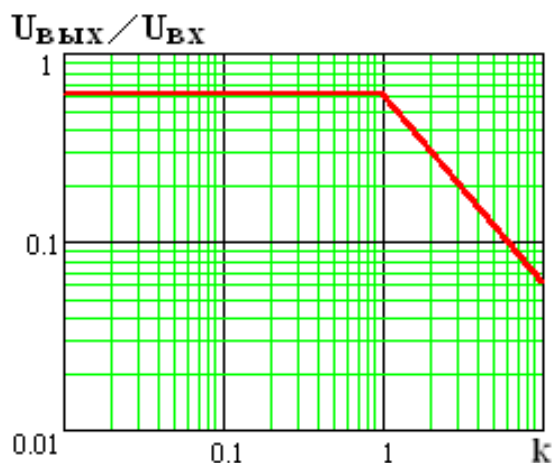


Рис. 3. Амплитудная характеристика

Амплитудная характеристика представлена в логарифмическом масштабе и весьма наглядна. Однако при проведении различного рода углубленных оценок целесообразно наличие аналитического описания обобщенной амплитудной характеристики демодулятора, которое по результатам аппроксимации для участка $x \geq 1$ может быть представлено следующим соотношением:

$$f(x) \approx 0,875 - 0,354x + 0,05x^2 - 0,0025x^3,$$

где переменная x представляет собой отношение амплитуды входного сигнала к амплитуде импульсной характеристики.

Заключение. В результате проведенного моделирования представлена возможность применения процедуры безмультипликативной обработки в демодуляторе ФМИ. В результате чего известный демодулятор Костаса принимает внутренне присущее свойство функциональной устойчивости при соблюдении условий управления динамическим диапазоном элемента (демодулятора).

Библиографический список

1. Добыкин, В. Д. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин [и др.] ; под ред. А. И. Куприянова. Москва : Вузовская книга. — 2007. — 468 с.
2. Гордиенко, В. И. Универсальный многофункциональный структурный элемент систем обработки информации / В. И. Гордиенко [и др.] // Известия вузов — Радиоэлектроника. — 1998. — № 3. — С. 13–17.
3. Давыдов, Ю. Т. Радиоприемные устройства. Учебное пособие для радиотехнич. спец. вузов / Ю. Т. Давыдов, Ю. С. [и др.]; под ред. А. П. Жуковского. — Москва : Высш. шк. — 1989. — 342 с.