

Компенсация искажений сигналов в системах спутниковой связи

Евгений Вадимович Дереча

аспирант ОмГУ им. Ф.М. Достоевского,
младший научный сотрудник АО «ОНИИП»

Денис Дмитриевич Привалов

к.т.н., зам. начальника отдела АО «ОНИИП»

Омск - 2020

Введение

В настоящее время в системах доставки информации одну из ключевых позиций занимают спутниковые технологии, и круг задач, решаемых с использованием систем спутниковой связи (ССС), продолжает расширяться. При этом низкоорбитальные ССС позволяют значительно снизить требования к наземной аппаратуре за счет малых высот полета космических аппаратов, а также являются наиболее эффективными в районах с низкой плотностью населения, к которым можно отнести районы крайнего Севера. Однако для обеспечения надёжной доставки информации необходимо решить ряд задач, возникающих в связи с искажениями радиосигнала в канале спутниковой связи. К таким искажениям относятся частотный сдвиг и временная задержка. Разработка предложений по учёту этих искажений и является целью данной работы.

Существующие алгоритмы фазовой синхронизации

Существует ряд способов восстановления несущей сигнала на основе возведения в степень [2]. Одним из таких способов является 2Р-степенной алгоритм [2]. Его обзор приведён в [3]. Там же показано, что данный алгоритм не справляется с синхронизацией при наличии ускорения или большого частотного сдвига. Ещё одним недостатком является необходимость в данном алгоритме предварительной тактовой синхронизации, так как точность тактовой синхронизации существенно влияет на работу данного алгоритма.

Также в работе [3] приведена схема, которая успешно справляется с вышеуказанной задачей синхронизации при наличии изменяющегося частотного сдвига. Однако и она обладает недостатком, связанным с необходимостью тактовой синхронизации.

Существует схема, не требующая в своей основе тактовой синхронизации. Она описана в [4 с. 90]. Данный алгоритм основан на возведении сигнала в степень.

1-ая реализация предлагаемого алгоритма

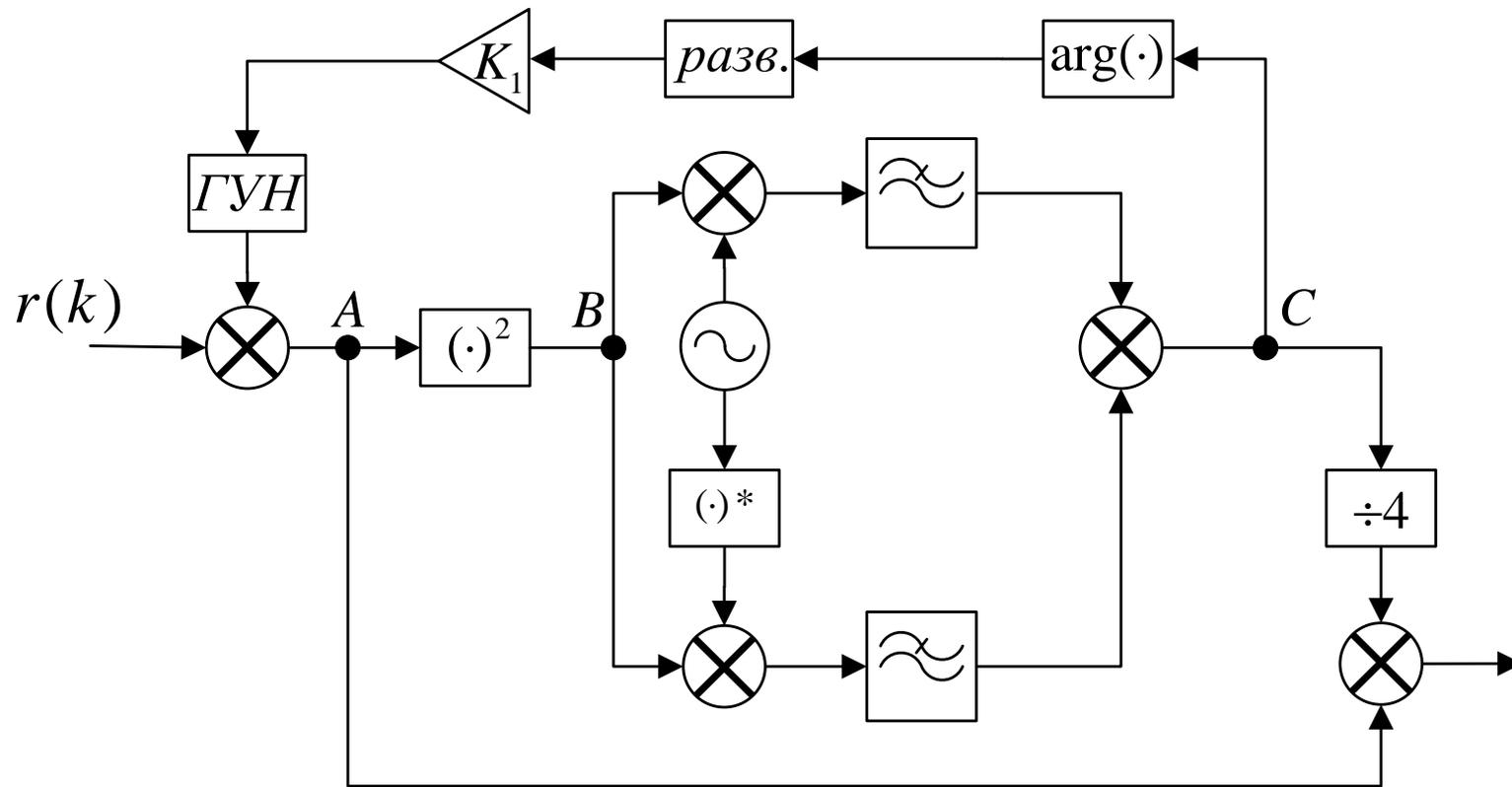


Рис. 1. Структурная схема предлагаемого алгоритма фазовой синхронизации

2-ая реализация предлагаемого алгоритма

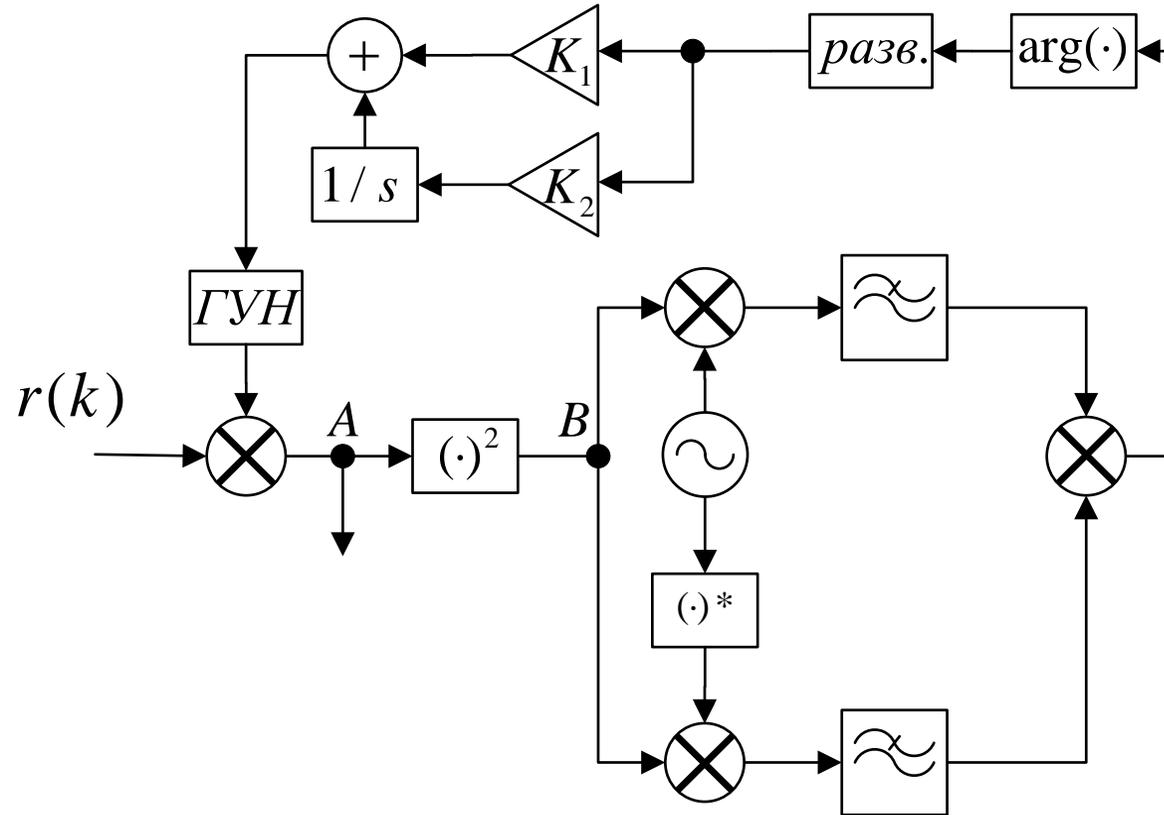


Рис. 2. Структурная схема 2-ой реализации предлагаемого алгоритма

Схема тактовой синхронизации

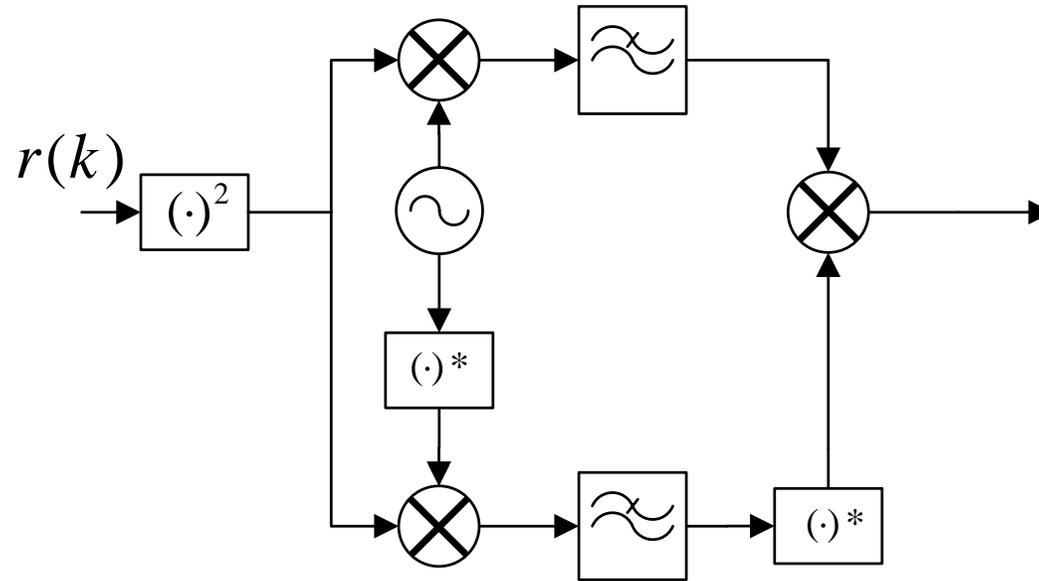


Рис. 3. Структурная схема предлагаемого способа тактовой синхронизации

Моделирование

При рассмотрении замкнутых систем синхронизации исследуют переходные процессы. Одной из величин, описывающей переходный процесс является длительность переходного процесса или время регулирования τ . Время регулирования τ определяется как минимальное время, по истечении которого регулируемая величина $s(t)$ будет оставаться близкой к установившемуся значению $s_{уст}$ с заданной точностью Δ [5]:

$$\left| s(t) - s_{уст} \right| \leq \Delta$$

Для моделирования тактовой синхронизации необходимо имитировать временную задержку, либо частотную расстройку тактовых генераторов. Причём, постоянная временная задержка соответствует фазовой расстройке тактовых генераторов, а частотной расстройке соответствует линейно изменяющаяся временная задержка. Моделирование задержки осуществлялось за счёт изменения фазы и частоты тактового генератора.

Зависимость длительности переходного процесса от параметров для 2-ой реализации

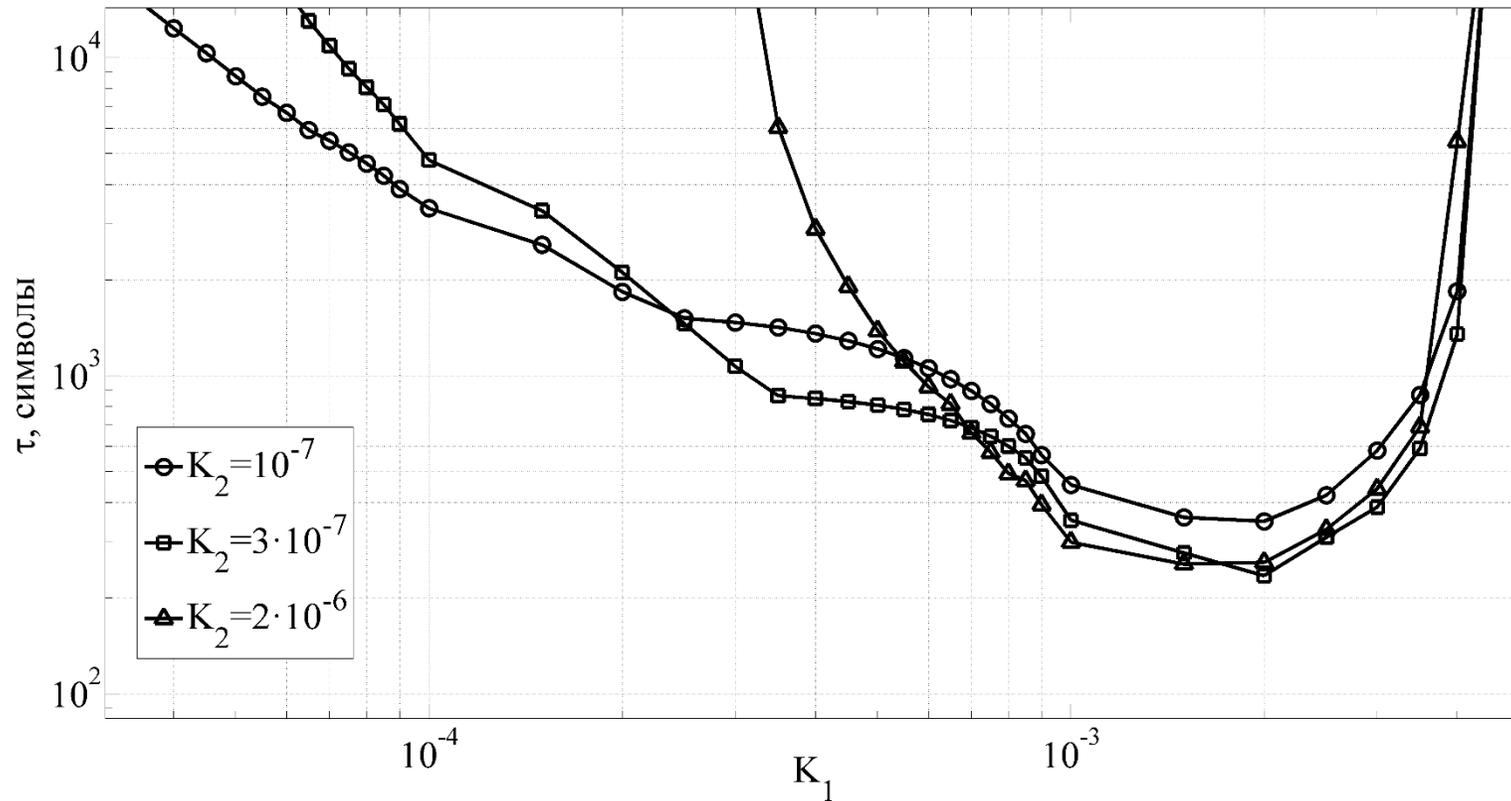


Рис. 4. Зависимость длительности переходного процесса от к-та K_1 при нескольких значениях K_2

Зависимость регулируемой величины от времени

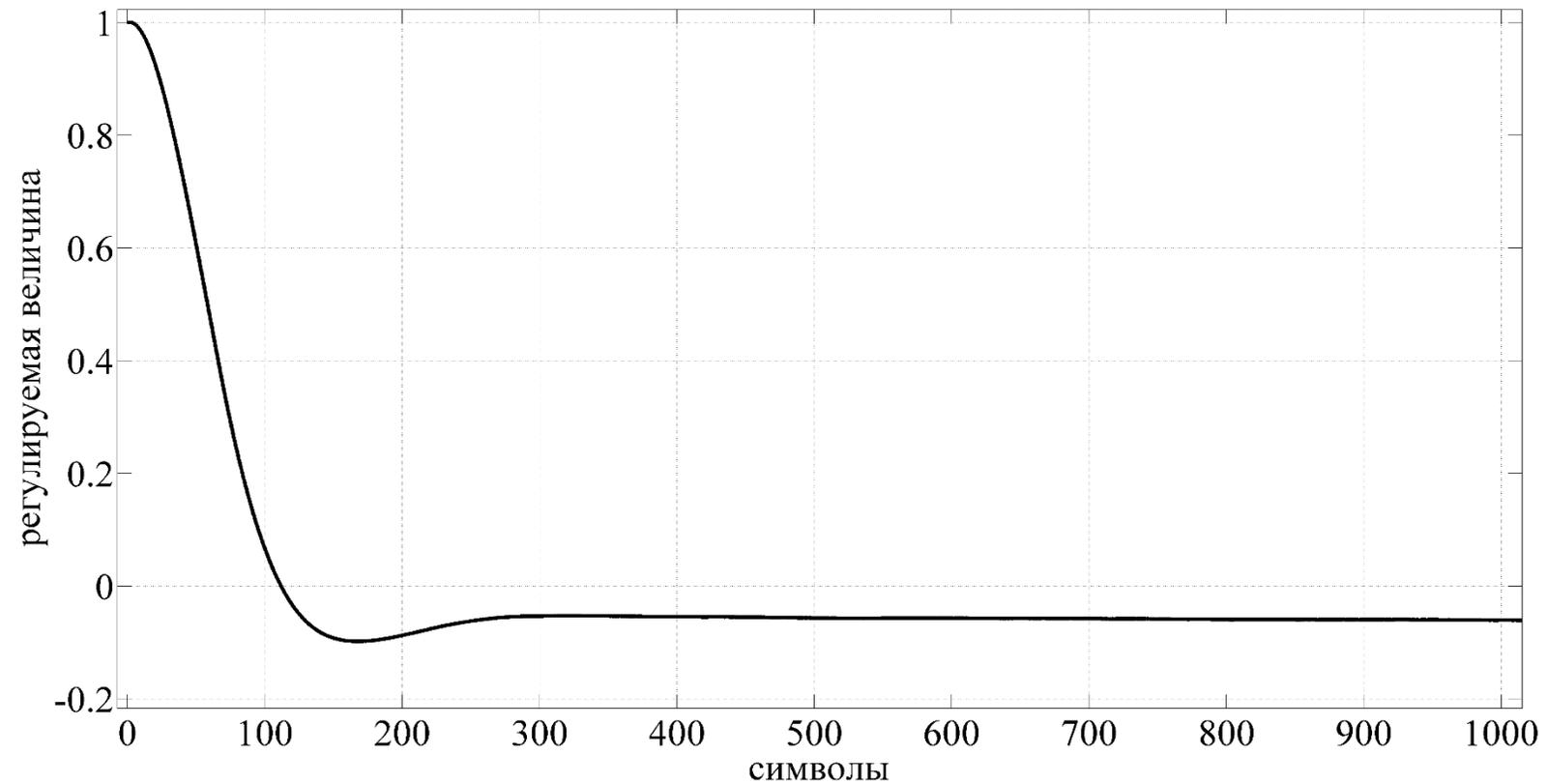


Рис. 5. Зависимость регулируемой величины от номера символа

Время переходного процесса от коэффициента для 1-ой реализации

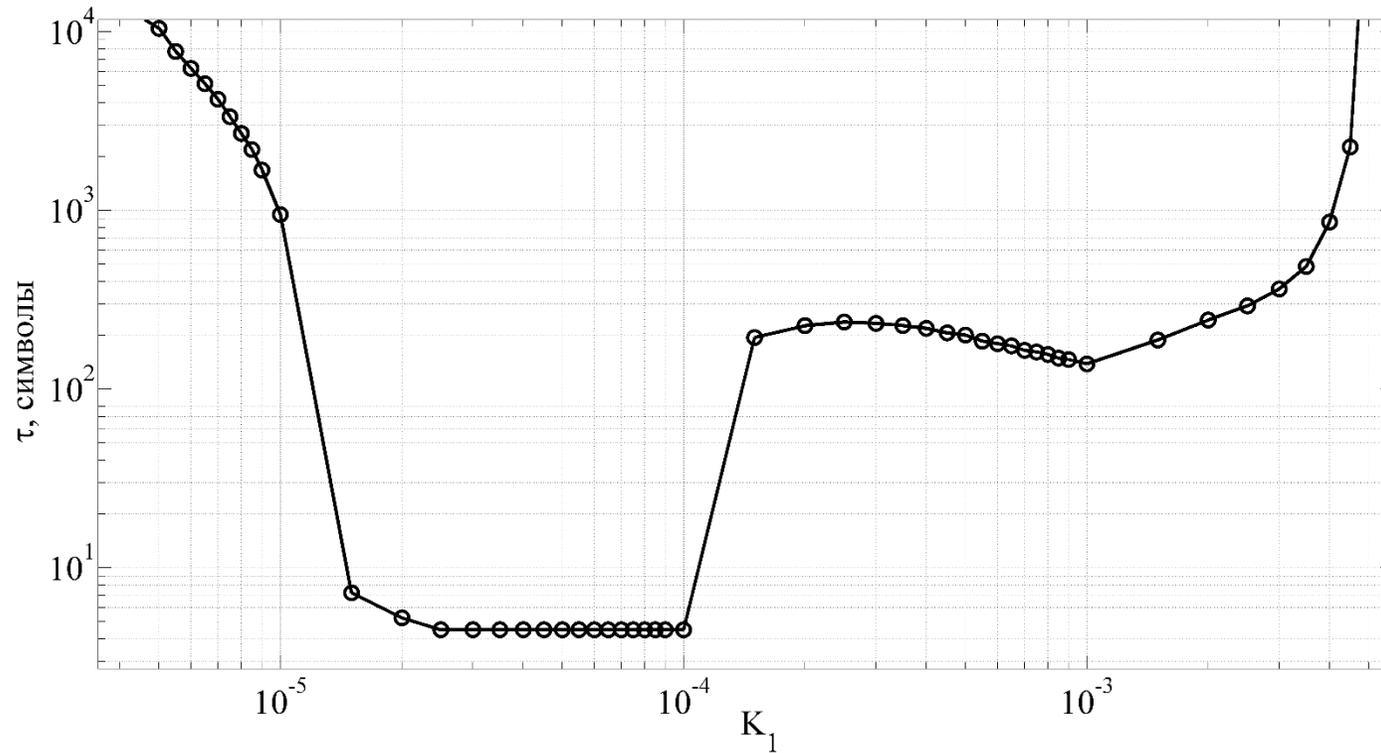


Рис. 6. Зависимость длительности переходного процесса от коэффициента K_1 для 1-ой реализации алгоритма

Дисперсия оценки тактовой частоты

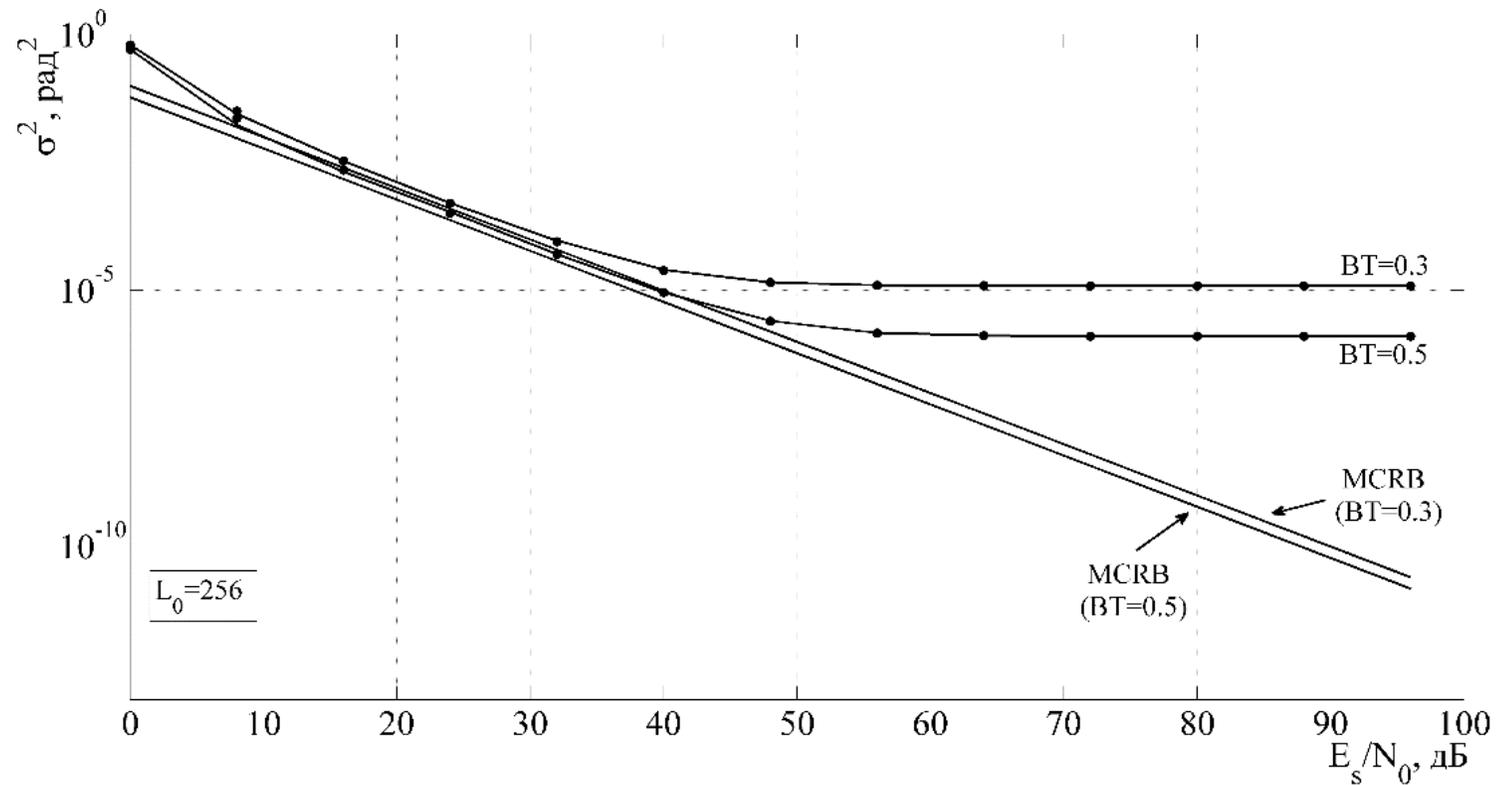


Рис. 7. Зависимость дисперсии оценки от отношения сигнал-шум при различной полосе фильтров

Дисперсия оценки тактовой частоты

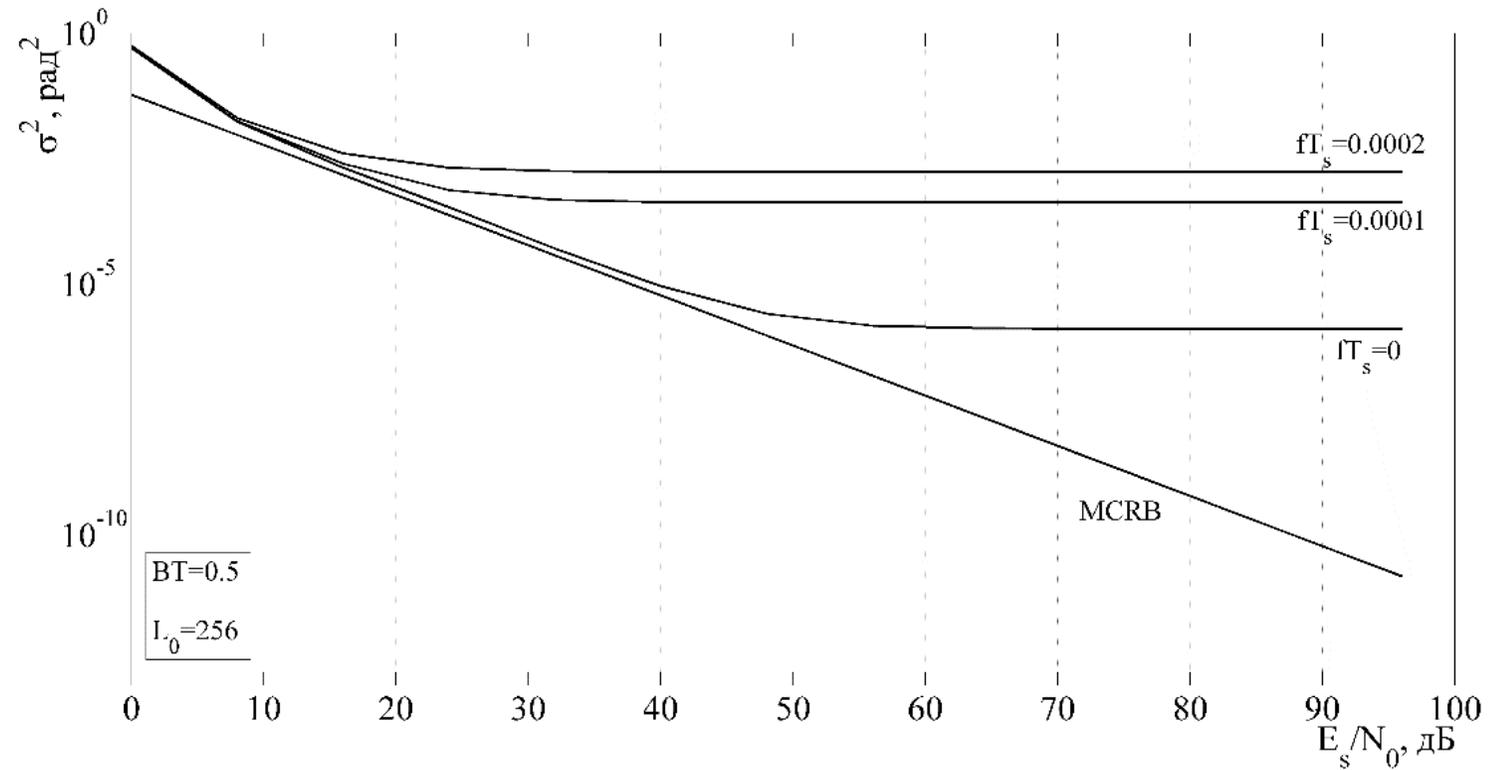


Рис. 8. Зависимость дисперсии оценки от отношения сигнал-шум при различном частотном сдвиге

Заключение

В данной работе был предложен алгоритм фазовой синхронизации. Его преимуществом, по сравнению с некоторыми из существующих схем, является отсутствие необходимости тактовой синхронизации. Также в предложенном алгоритме нет необходимости в построении ФАПЧ 2-го порядка. Проведено сравнение между собой характеристик предложенной схемы в двух различных реализациях. Показано, что реализация алгоритма с применением петли обратной связи с астатизмом 1-порядка и дополнительно прямой связи, обладает меньшей длительностью переходных процессов, чем при реализации только с петлёй обратной связи, имеющей 2-ой порядок астатизма.

Заключение

Также был предложен алгоритм тактовой синхронизации. По результатам его исследования можно сделать следующие выводы.

1. Предложенный алгоритм позволяет выполнить синхронизацию без использования системы ФАПЧ.
2. Предложенный алгоритм позволяет получить минимальную дисперсию при оценке задержки тактового сигнала порядка 10^{-6} рад².
3. Предложенный алгоритм позволяет получить оценку задержки тактового сигнала для отношения сигнал-шум не менее 10 дБ и нормированного частотного сдвига fT_s не более 0.0002

Литературные источники

1. *M. Jhaidri, C. Laot, A. Thomas.* Nonlinear analysis of GMSK carrier phase recovery loop // 2016 International Symposium on Signal, Image, Video and Communications (ISIVC), Tunis, 2016. – pp. 230-235.
2. *Umberto Mengali, Aldo N. D'Andrea.* Synchronization techniques for digital receivers // Plenum Press, New York, 1997. - 529 p.
3. *Дереча Е. В., Привалов Д. Д.* Исследование алгоритма фазовой синхронизации GMSK-сигналов для низкоорбитальных систем спутниковой связи // Техника радиосвязи. 2017. Вып. 2 (33). С. 87-95.
4. *Банкет В. Л., Дорофеев В. М.* Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
5. *Н. А. Бабаков, Х. А. Воронов, А. А. Воронова и др.* Теория автоматического управления. Ч.1. – М.: Высш. Шк., 1986. – 367 с.
- 6. *Банкет В. Л., Дорофеев В. М.* Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 240 с.
- 7. *Спилкер Дж.* Цифровая спутниковая связь. Пер. с англ./Под ред. В. В. Маркова. – М.: Связь, 1979. – 592 с.
- 8. *Antonio D'Amico, Aldo N. D'Andrea, Umberto Mengali.* Feedforward Joint Phase and Timing Estimation with OQPSK Modulation // IEEE Trans. on Comm., Vol. 48, No. 3, May 1999. – p 824 – 832.