

О ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТАКТОВОЙ И ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ GMSK СИГНАЛА

Денис Дмитриевич Привалов

с.н.с. ИРФЭ ОНЦ СО РАН

Евгений Вадимович Дереча

Аспирант ОмГУ

Омск - 2021

Актуальность

В реальных системах спутниковой связи неизбежно влияние множества дестабилизирующих факторов. К нарушению целостности структуры сигналов приводит наличие аддитивных шумов и помех. Нестабильность опорных генераторов передающих и принимающих устройств вызывает рассогласование их временных шкал и, как следствие, тактовых частот. Эффект Доплера в результате перемещения в пространстве радиотехнических систем требует поиска по частоте и сопровождения по фазе принимаемого сигнала.

Актуальность

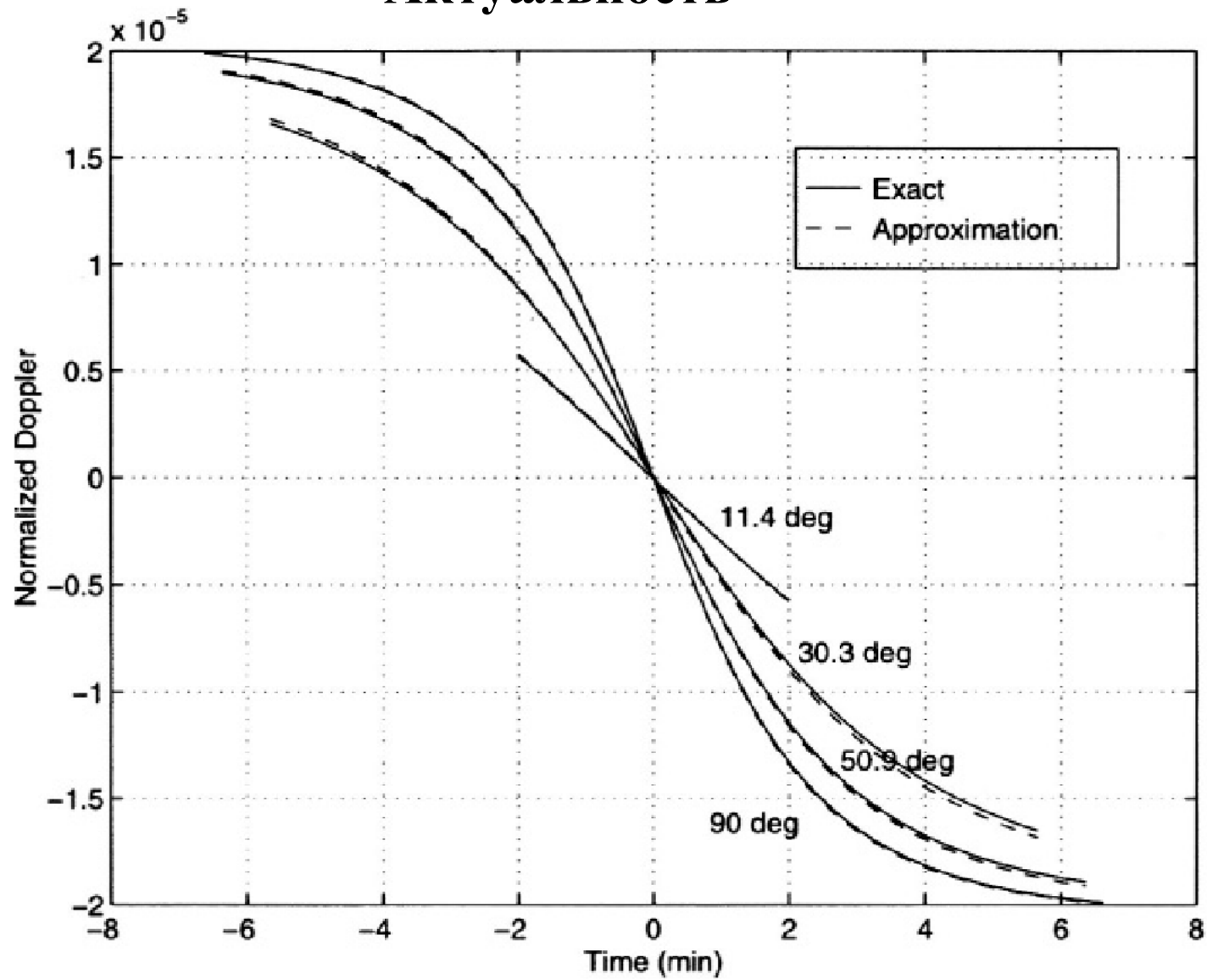


Рис. 1. Реальные и приближённые доплеровские S-кривые для различных максимальных углов возвышения

Постановка задачи

Принимаемый сигнал:

$$r(k) = Ae^{j(2\pi\nu(kT_s + \tau) + \theta)} + n(k) \quad (1)$$

A - амплитуда сигнала τ - временная задержка
 ν - частотный сдвиг θ - фазовый сдвиг
 T_s - период дискретизации $n(k)$ - АБГШ

Оценка частоты:

$$\nu_{оц} = \frac{1}{2\pi T_s} \sum_{k=0}^{L_0-2} w_k \arg\{r^*(k)r(k+1)\} \quad (2)$$

L_0 - длина наблюдаемых данных

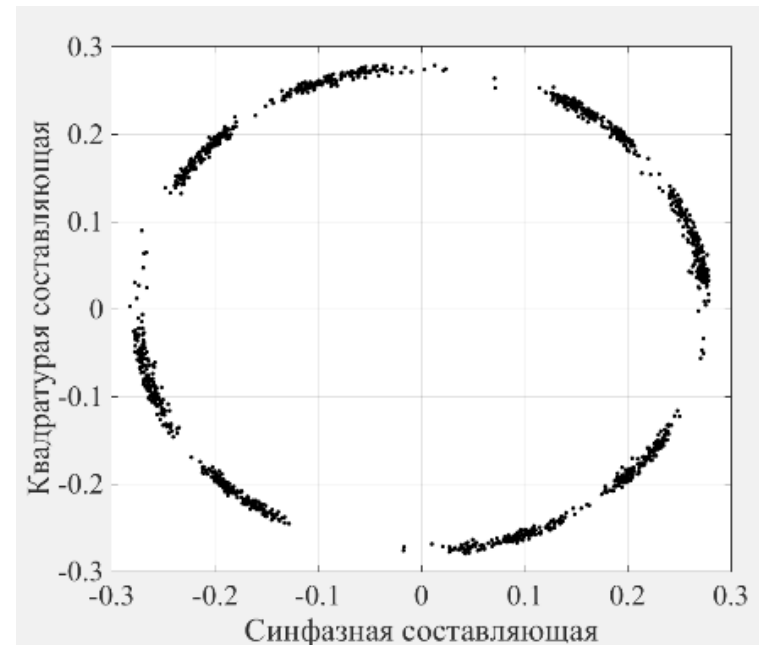
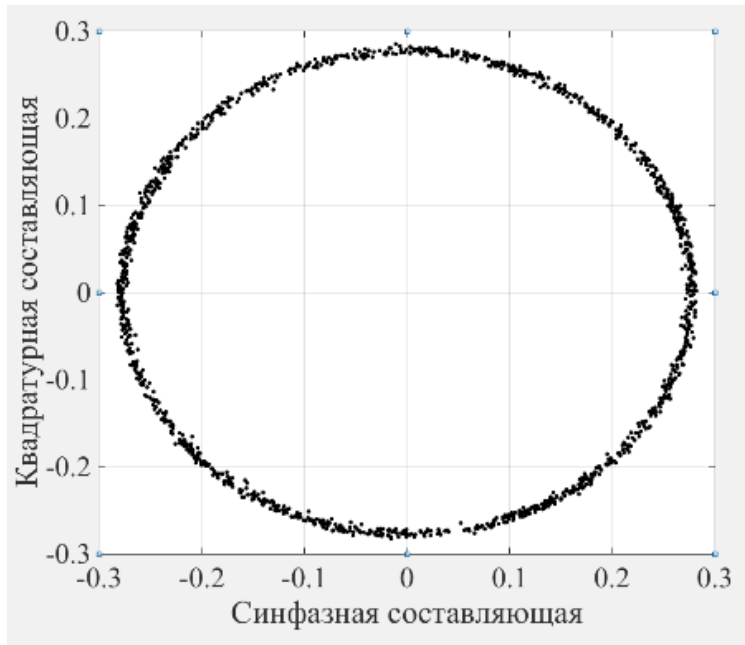
Оконная функция:

$$w_k = \frac{3}{2} \frac{L_0}{L_0^2 - 1} \left[1 - \left(\frac{2k - L_0}{L_0} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Существующие алгоритмы синхронизации

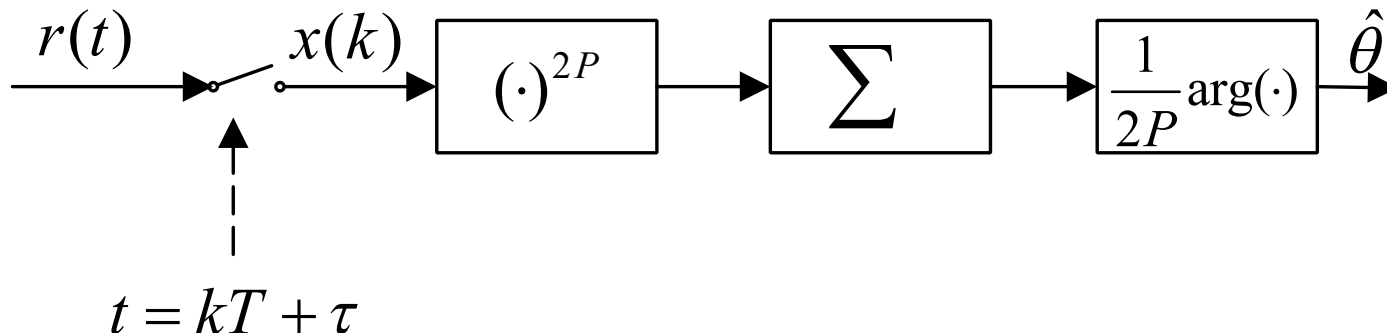
Существует ряд способов восстановления несущей сигналов на основе возведения в степень, обобщенных в работе Umberto Mengali, Aldo N. D'Andrea «Synchronization techniques for digital receivers». Одним из таких способов является $2P$ -степенной алгоритм. Однако данный алгоритм не справляется с синхронизацией 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.

2P-степенной алгоритм оценки фазы

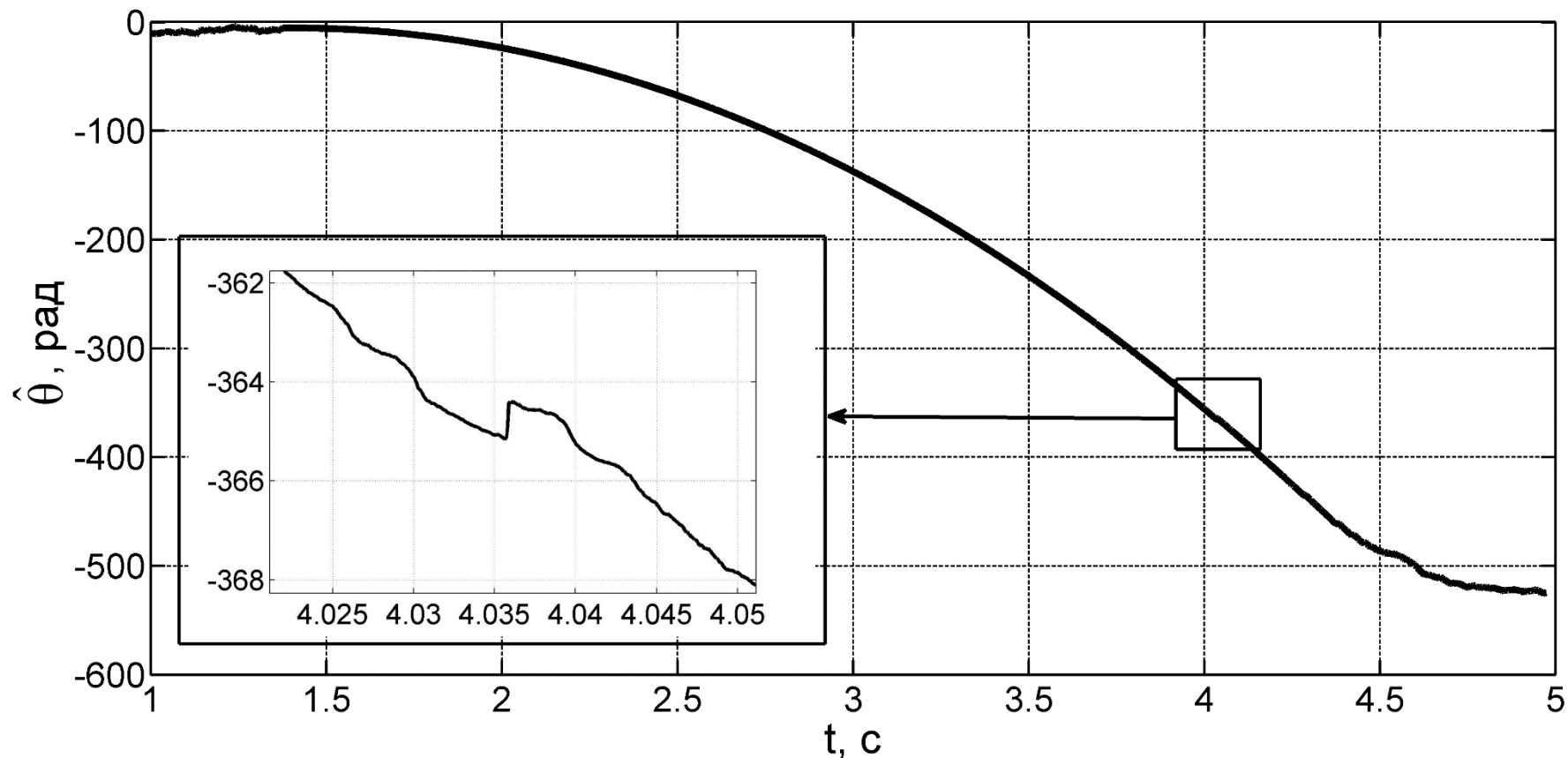


Сигнальное созвездие зашумлённого сигнала
без синхронизации

после оценки фазы

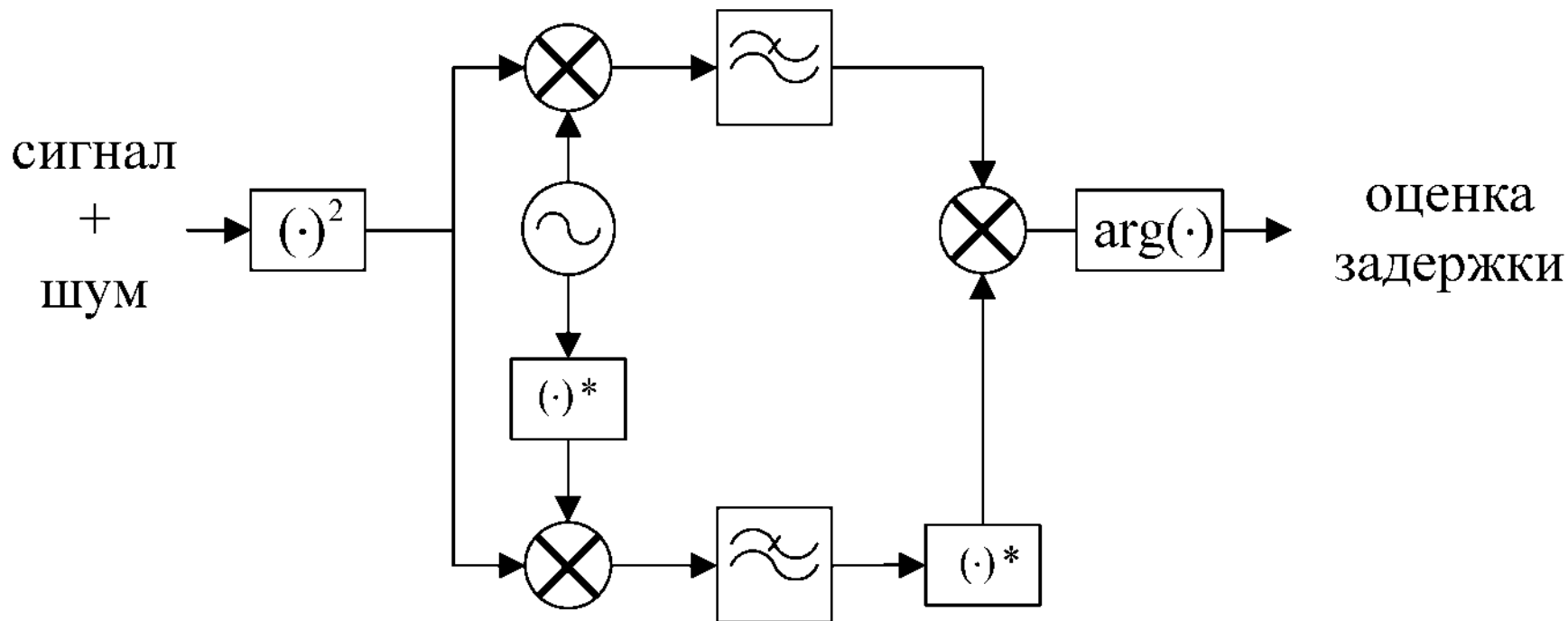


2Р-степенной алгоритм оценки фазы



Оценка фазы реального сигнала 2Р-степенным методом

Алгоритм тактовой синхронизации



после возведения
в квадрат:

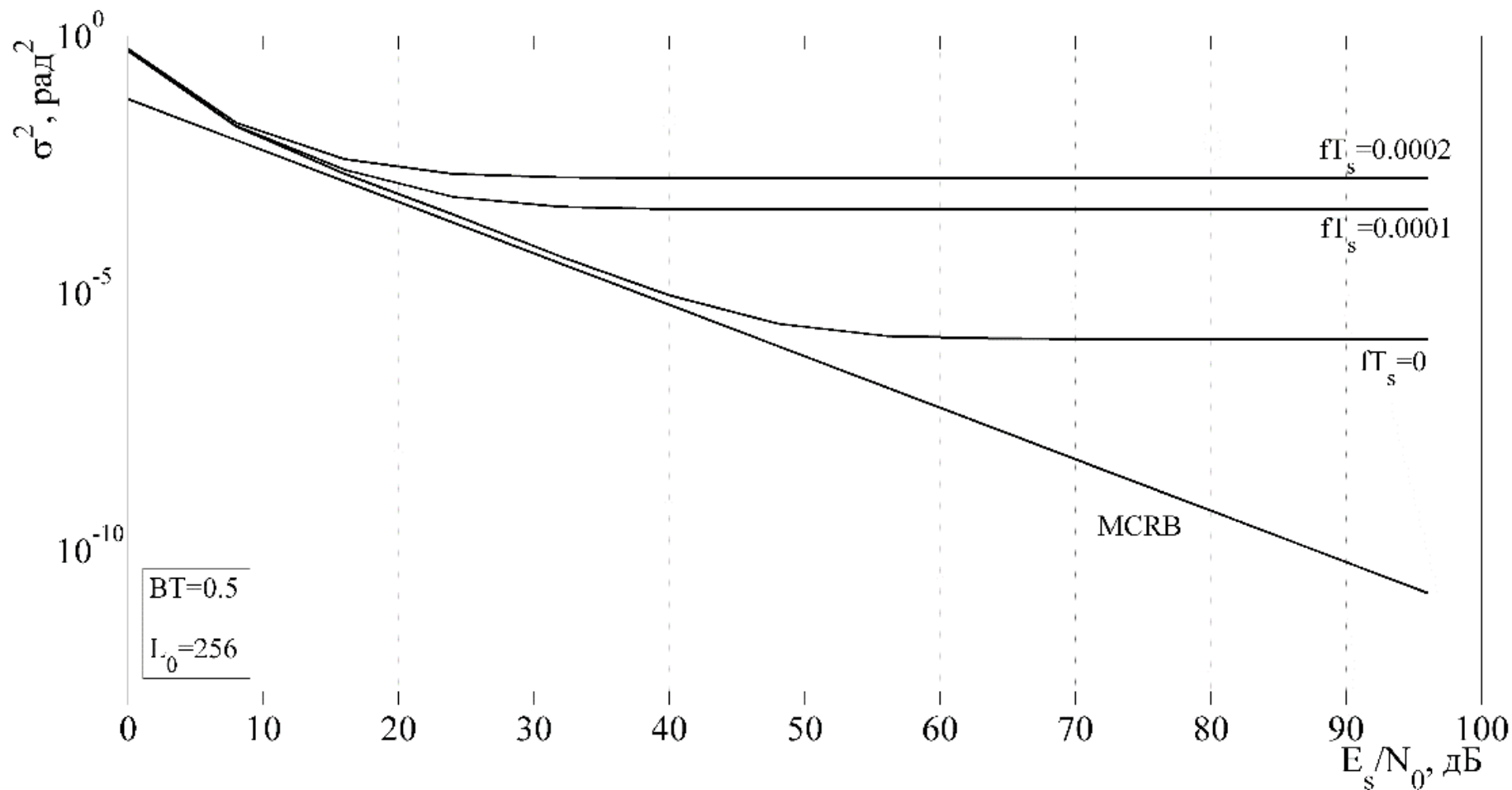
$$r^2(k) = A \exp(j(2\varphi(k) \pm 2\pi f_{sym} kT_s / 2)) + n_2(k)$$

оценка
задержки:

$$\hat{t} = \frac{1}{2\pi} \arg(A^2 \exp(j2\pi\delta kT_s) + n_4(k))$$

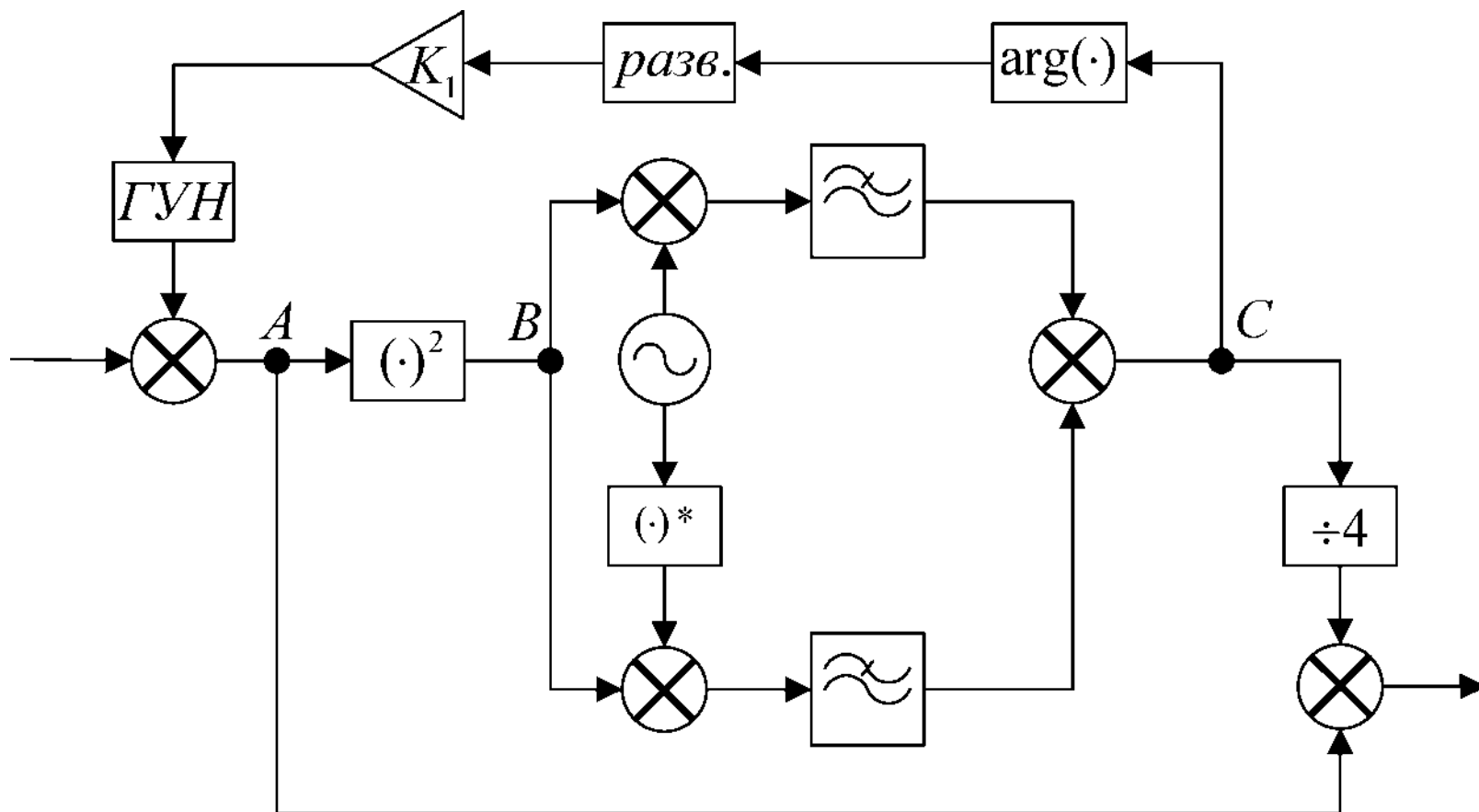
где $\delta = f_{sym} - f_{\Gamma}$ - расстройка между
опорными частотами передатчика и приёмника

Алгоритм тактовой синхронизации



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

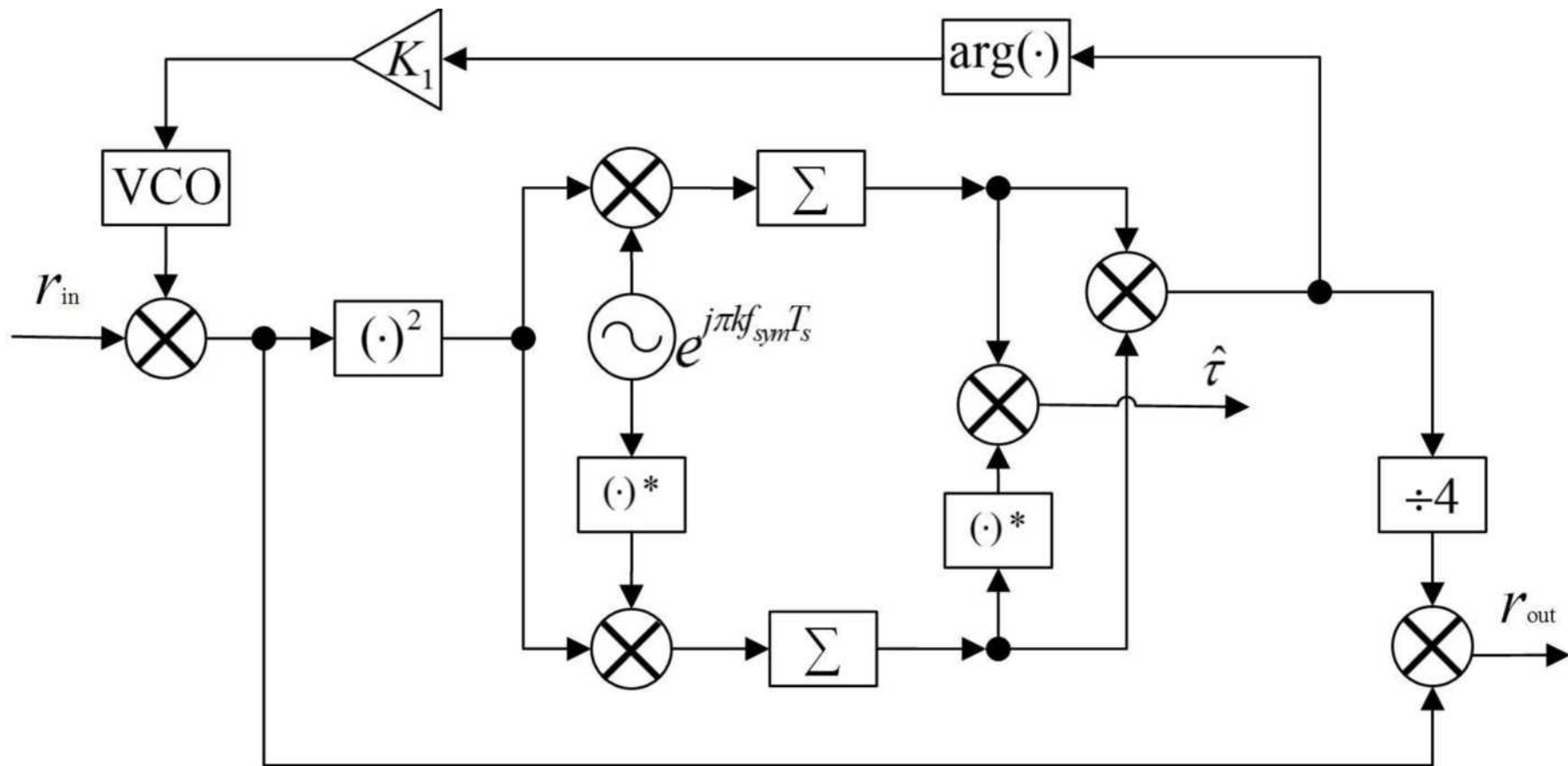
Алгоритм фазовой синхронизации



Сигнал в точке С имеет вид: $A^2 e^{j(4\hat{\varphi}(k))} + \tilde{n}_4(k)$

Для компенсации постоянного фазового сдвига
вводится петля обратной связи

Структурная схема алгоритмов фазовой и тактовой синхронизации



После компенсации сигнал на выходе схемы:

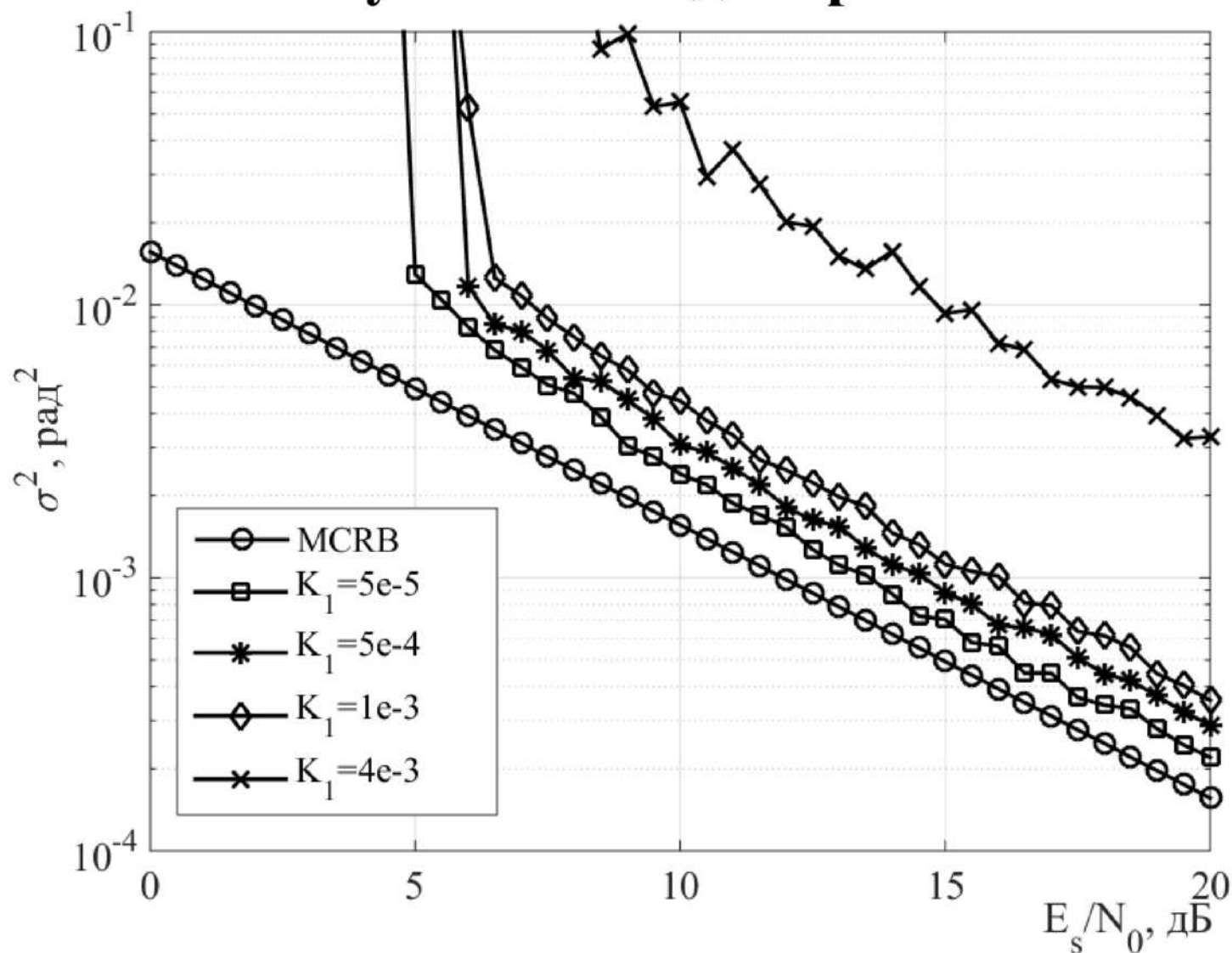
$$r_{out}(k) = A \exp(j\psi(k - t_d, \alpha)) + n_{out}(k)$$

где $\psi(k)$ описывает фазу модулированного сигнала

Результаты моделирования

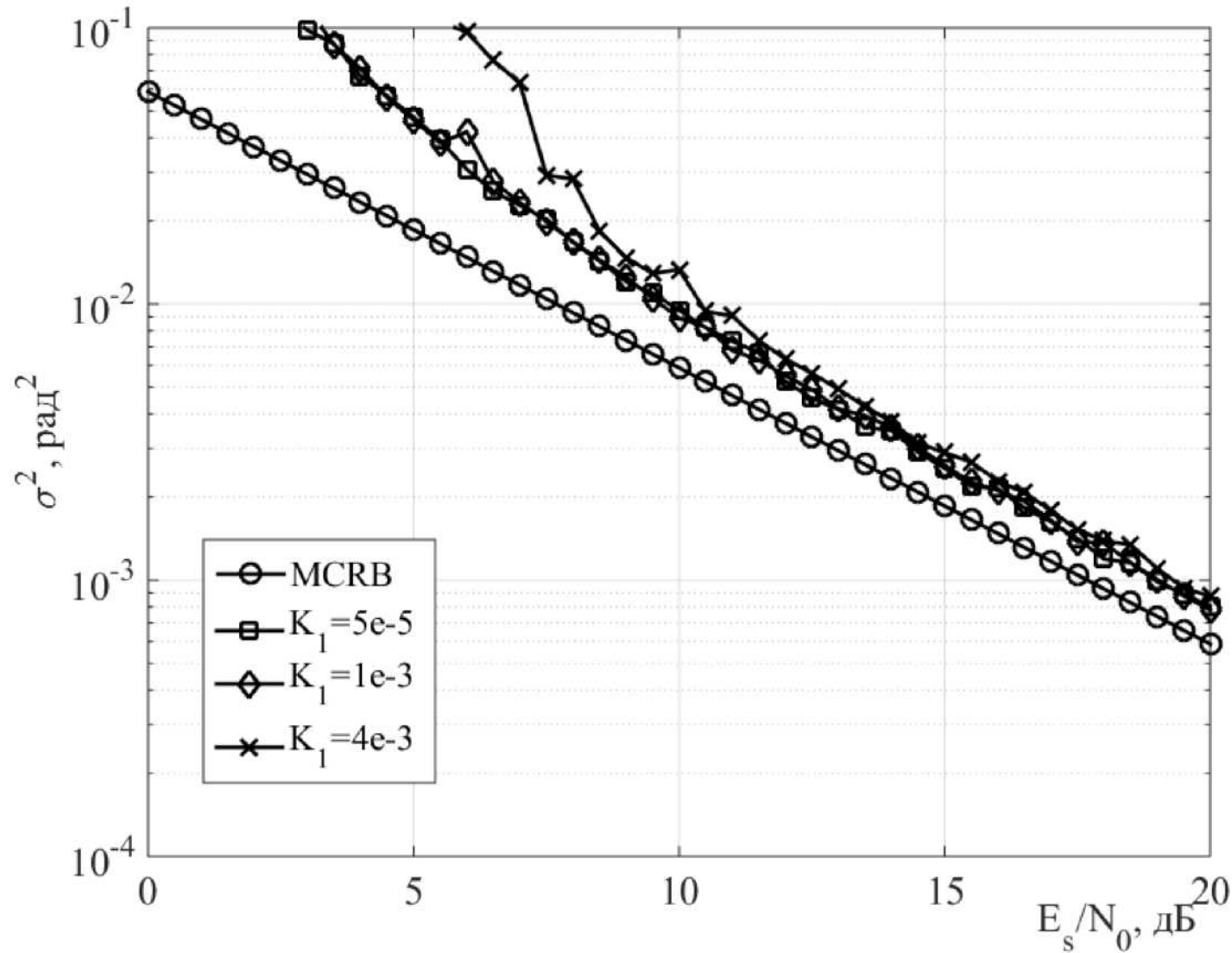
Моделирование временной задержки τ осуществлялось путем изменения фазы и частоты тактового генератора. При этом перед фазовой синхронизацией необходимо выполнить частотную синхронизацию. Существует множество различных алгоритмов частотной синхронизации. Здесь авторы исходили из работы, посвящённой алгоритму Кея для оценки частоты. Поскольку данный алгоритм оценки частоты на практике обеспечивает точность не менее $\nu = 0,01 \cdot F_s$ для приемлемых значений отношений сигнал/шум, такой частотный сдвиг был использован при моделировании.

Результаты моделирования



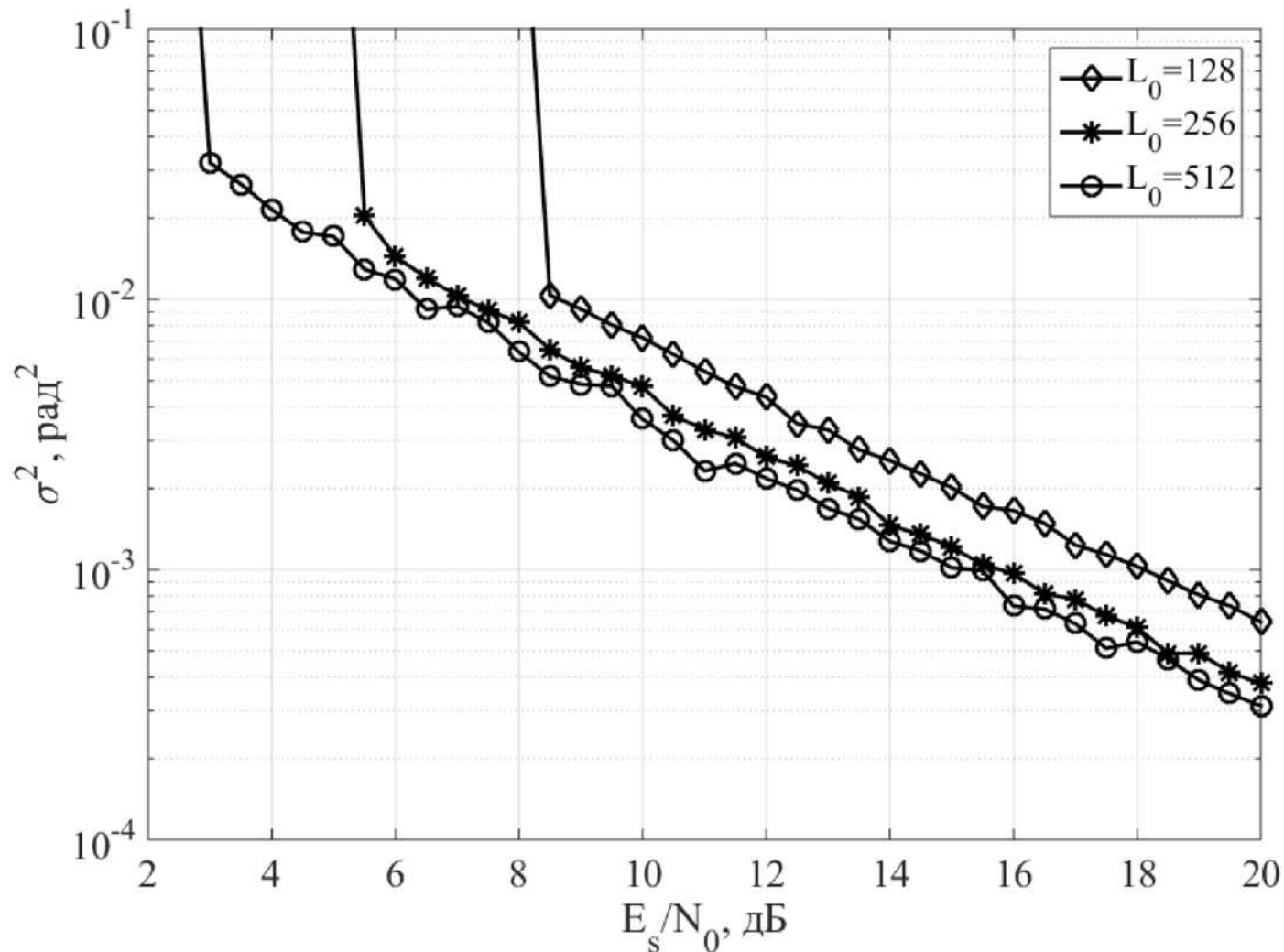
Зависимость дисперсии оценки фазы от отношения сигнал-шум при различных коэффициентах K_1

Результаты моделирования



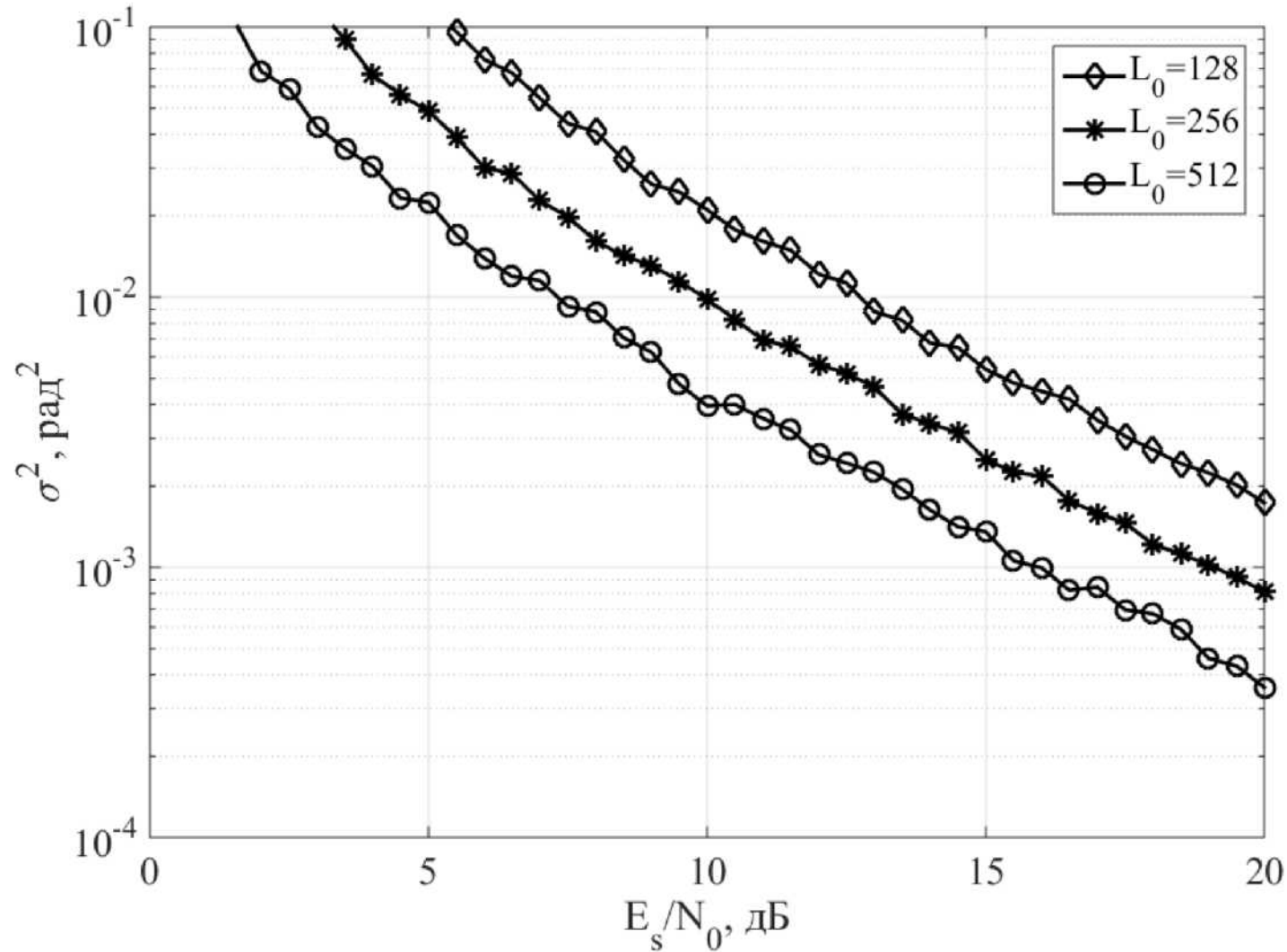
Зависимость дисперсии оценки тактовой частоты от отношения сигнал-шум при различных коэффициентах K_1

Результаты моделирования



Зависимость дисперсии оценки фазы от отношения сигнал-шум при различной длине фильтра

Результаты моделирования



Зависимость дисперсии оценки тактовой частоты от отношения сигнал-шум при различной длине фильтра

Выводы

В данной работе был проведён анализ совместного функционирования алгоритмов фазовой и тактовой синхронизации. По результатам анализа сформулированы следующие выводы:

1. Показана возможность одновременного осуществления тактовой и фазовой синхронизации. Преимуществом данной схемы является наличие петли обратной связи с астатизмом первого порядка, позволяющей исключить наличие постоянного фазового сдвига, вызванного движением негеостационарного спутника-ретранслятора.

2. Получены удовлетворительные значения фазовой и тактовой оценок при одновременном наличии фазового и тактового рассогласования. Рассчитаны дисперсии оценок в зависимости от отношения сигнал/шум при различных значениях коэффициента в петле обратной связи и длины фильтра скользящего среднего.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!