

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Институт Радиотехники и электротехники им В.А. Котельникова

Лабораторная работа №3

«Исследование коррелятора АП СРНС ГЛОНАСС с помощью  
имитационной модели»

Студент: Попов М.Г.

Группа: ЭР-15-16

Москва

2020

## Цель работы:

1. Исследовать структуру и свойства функциональных элементов корреляторов АП СРНС;
2. Исследовать характеристики процессов, происходящих в корреляторах АП СРНС;
3. Ознакомиться с ИКД ГЛОНАСС.

## Домашняя подготовка

1. Схема формирования дальномерного кода для ГЛОНАСС L1 СТ:

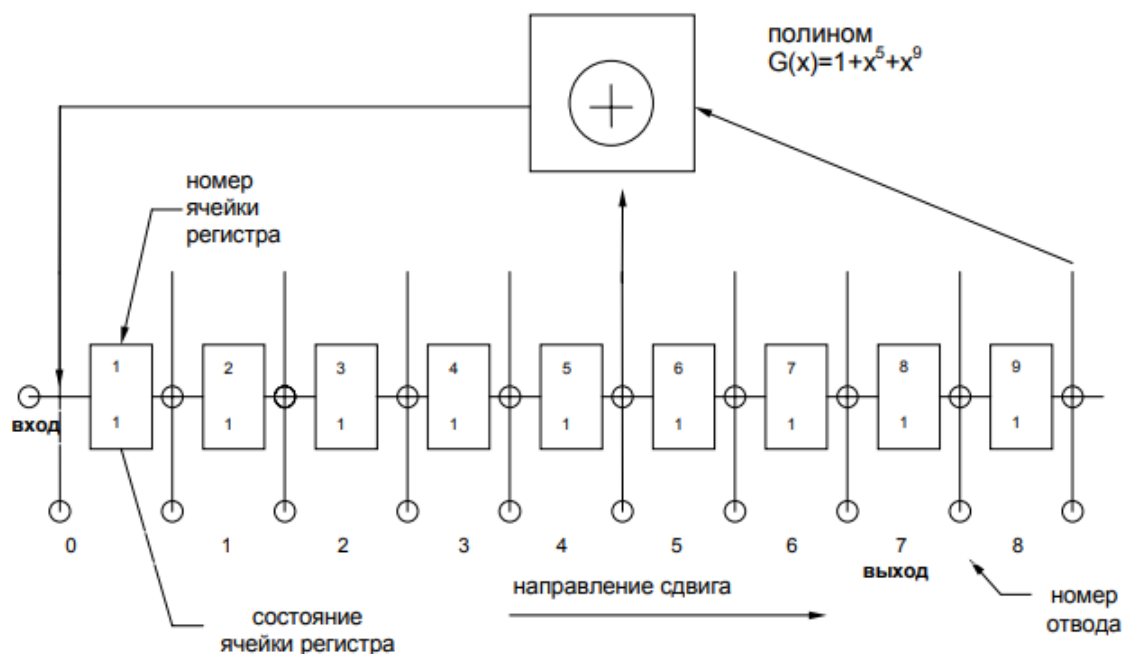


Рисунок 1 — Структура регистра сдвига, формирующего дальномерный код для ГЛОНАСС L1 СТ

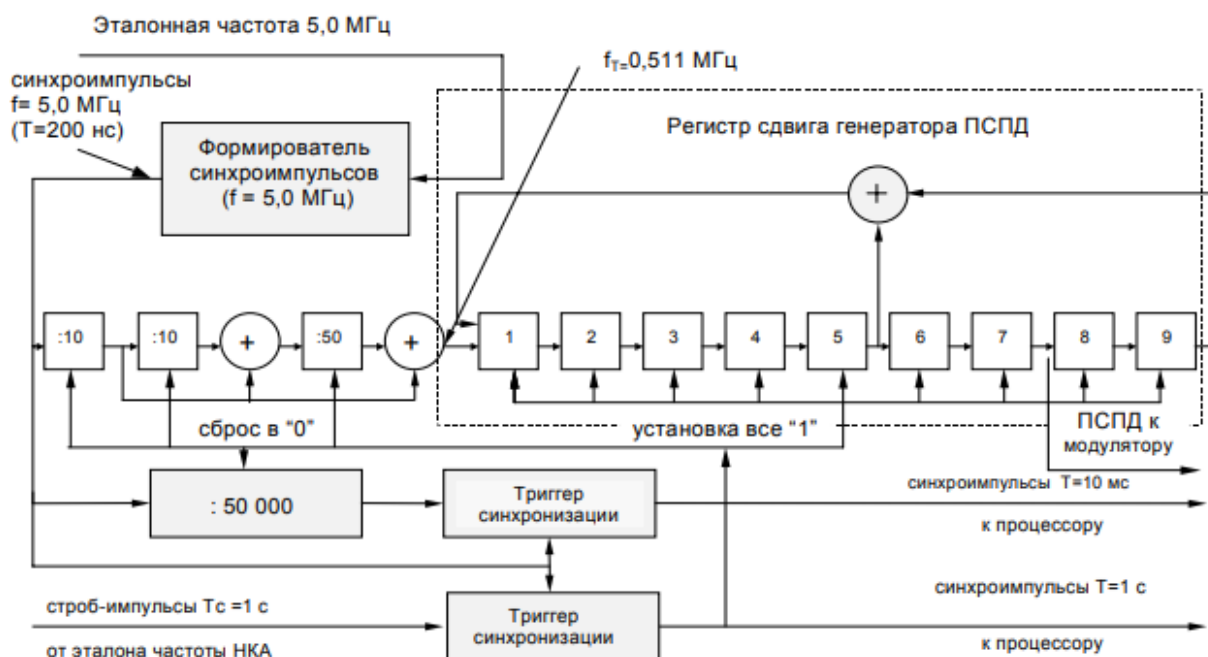


Рисунок 2 — Структурная схема формирования дальномерный код для ГЛОНАСС L1 СТ

## 2. Схема формирования дальномерного кода для GPS L1 C/A

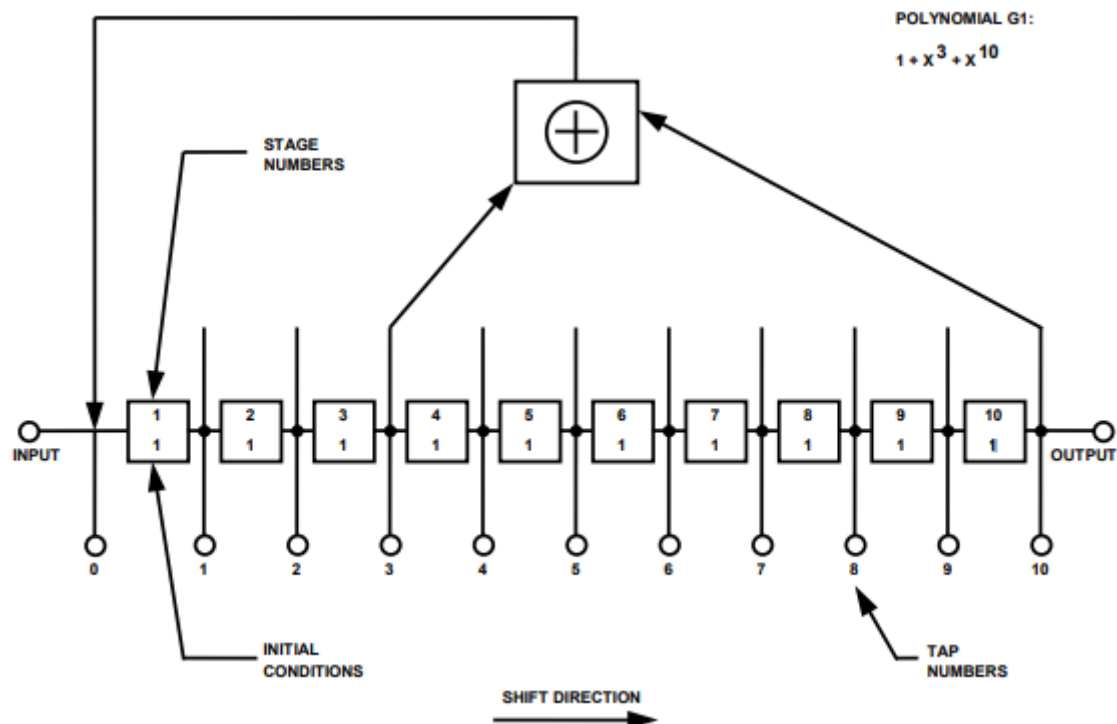


Рисунок 3 — Структура регистра сдвига G1, формирующего дальномерный код для GPS L1 C/A

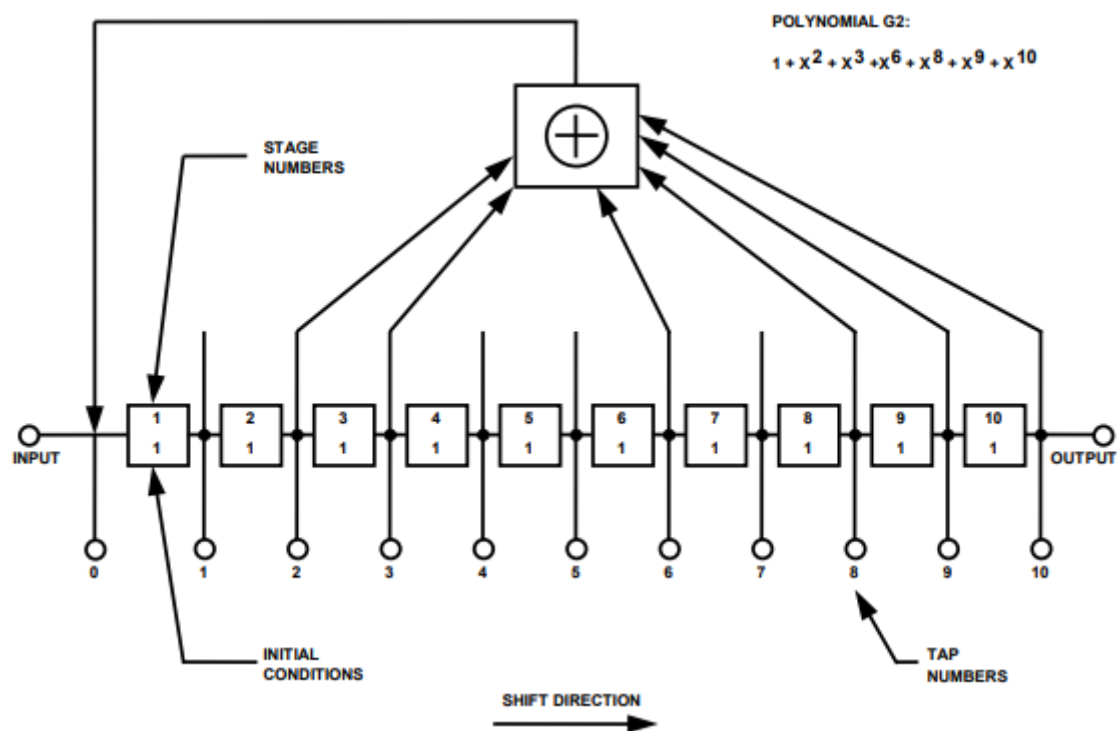


Рисунок 4 — Структура регистра сдвига G2, формирующего  
 дальномерный код для GPS L1 C/A

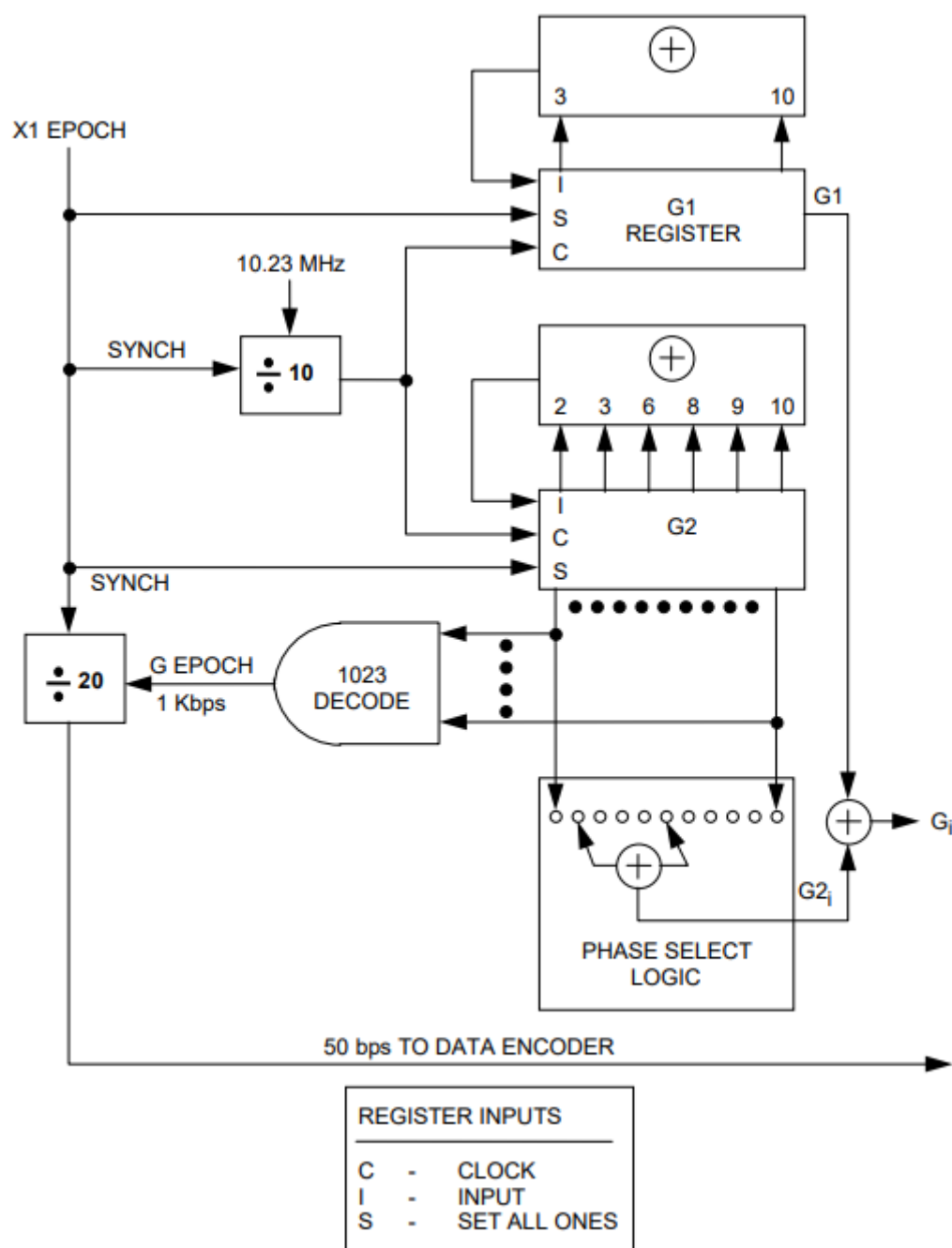


Рисунок 5 — Структура формирования дальномерный код для GPS L1 C/A

### 3. Выражения для статистических эквивалентов выходных отсчетов коррелятора

$$I_k = \sum_{l=1}^L y_{k,l} G_c(t_{k,l} - \tilde{\tau}_k) \cos(\omega_{if} t_{k,l} + \tilde{\omega}_{d,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k);$$

$$Q_k = \sum_{l=1}^L y_{k,l} G_c(t_{k,l} - \tilde{\tau}_k) \sin(\omega_{if} t_{k,l} + \tilde{\omega}_{d,k} l T_d + \tilde{\varphi}_k)$$

Где:

- Модель шкалы времени:

$$t_{k,l} = t_{k,0} + l T_d = t_{k,0} + L T_d = t_{k,0} + T, \text{ где:}$$

$T_d$  - интервал дискретизации,  $T$  - интервал накопления в корреляторе.

- Модель сигнала на выходе АЦП:

$$y_{k,l} = Qu(y_{fe,k,l}),$$

где  $Qu(\ )$  - нелинейная функция квантования

- Модель сигнала на выходе радиочастотного блока

$$y_{fe,k,l} = K_f (S_{k,l} + J_{k,l} + n_{k,l}), \text{ где:}$$

$K_f$  - операторный коэффициент передачи цифрового фильтра с заданной полосой;

$S_{k,l} = A G_c(t_{k,l} - \tau_k) \cos(\omega_{if} t_{k,l} + \omega_{d,k} l T_d + \varphi_k)$  - модель полезного сигнала;

$J_{k,l} = A_j \cos(\omega_i t_{k,l} + \varphi_{j,k})$  - модель гармонической помехи;

$n_{k,l}$  - ДБГШ с дисперсией  $\sigma_n^2$ .

## Лабораторное исследование

- Отключить шум приемного устройства. В качестве значения полосы фронтенда выбрать «Бесконечность». Квантование принимаемой реализации и опорного сигнала отключить. Расстройку опорного сигнала по частоте установить нулевой. На основании ИКД установить параметры схемы формирования ДК. Перенести схему в отчет. Занести в отчет вычисленные корреляционные функции. Определить промежуточную частоту сигнала, полосу сигнала.

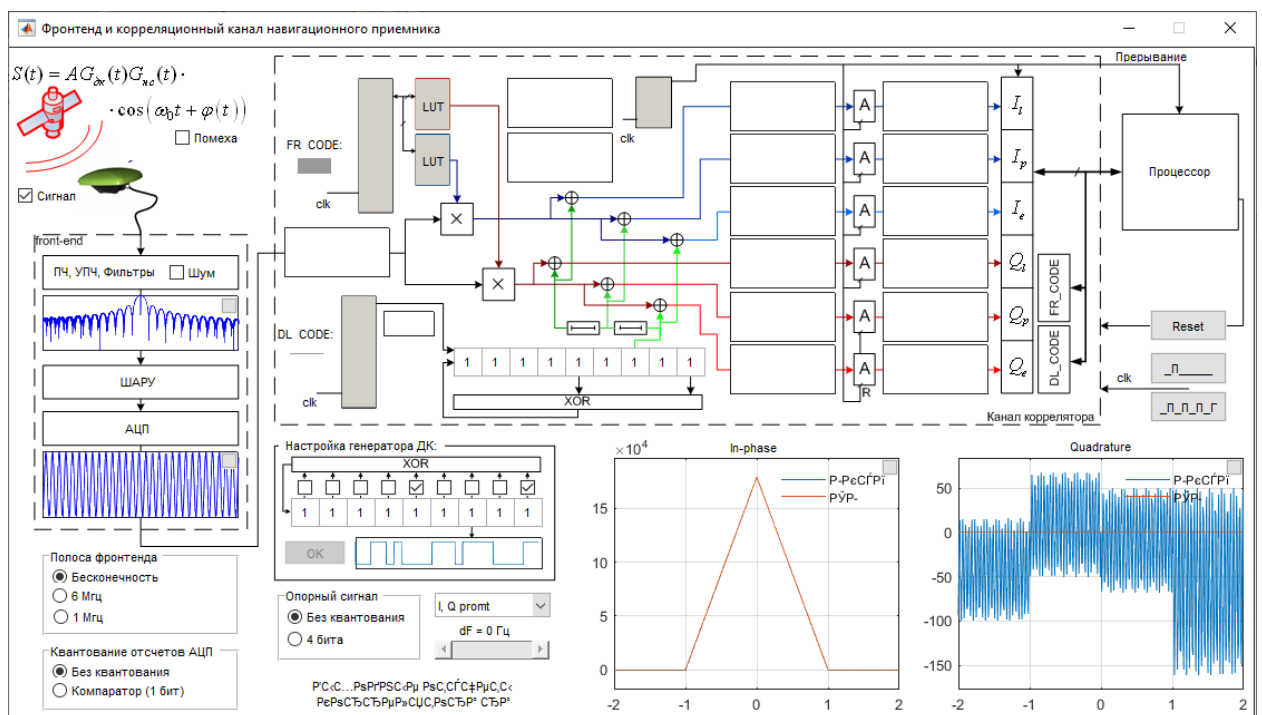


Рисунок 6 — Интерфейс имитационной модели с выполненной настройкой генератора

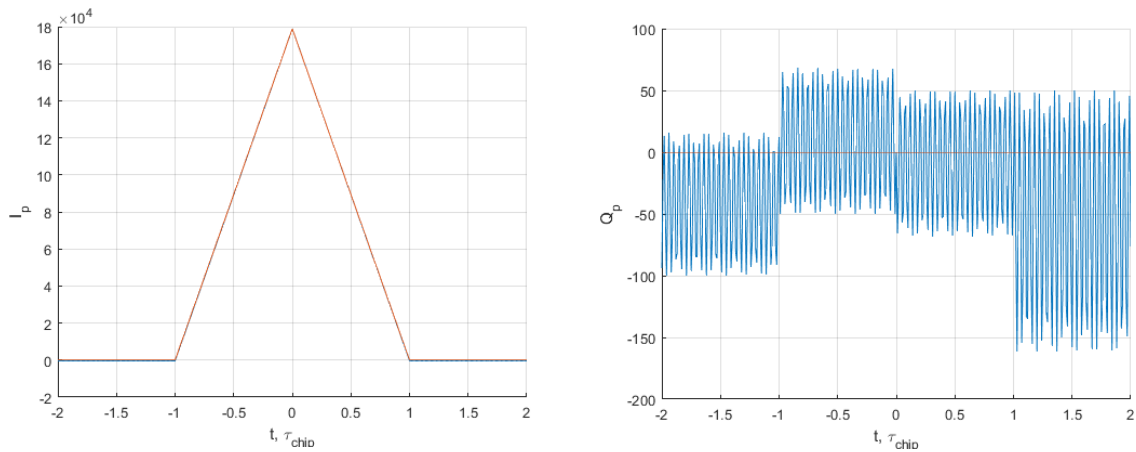


Рисунок 7 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний

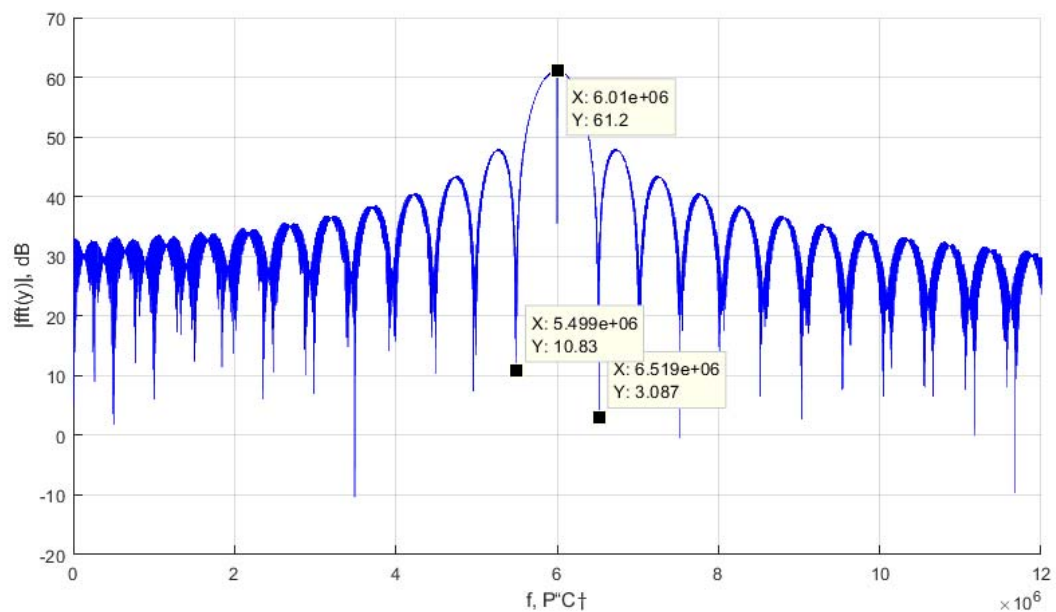


Рисунок 8 - Спектр радиосигнала

Определим с помощью маркеров промежуточную частоту сигнала:  $f_n = 6$  МГц и полосу сигнала:  $\Delta f = (6.519 - 5.499) \cdot 10^6 = 1.02$  МГц

- Установить полосу фронтеда равной 6 МГц, 1 МГц. Перенести корреляционные функции в отчет. Оценить групповое время запаздывания.



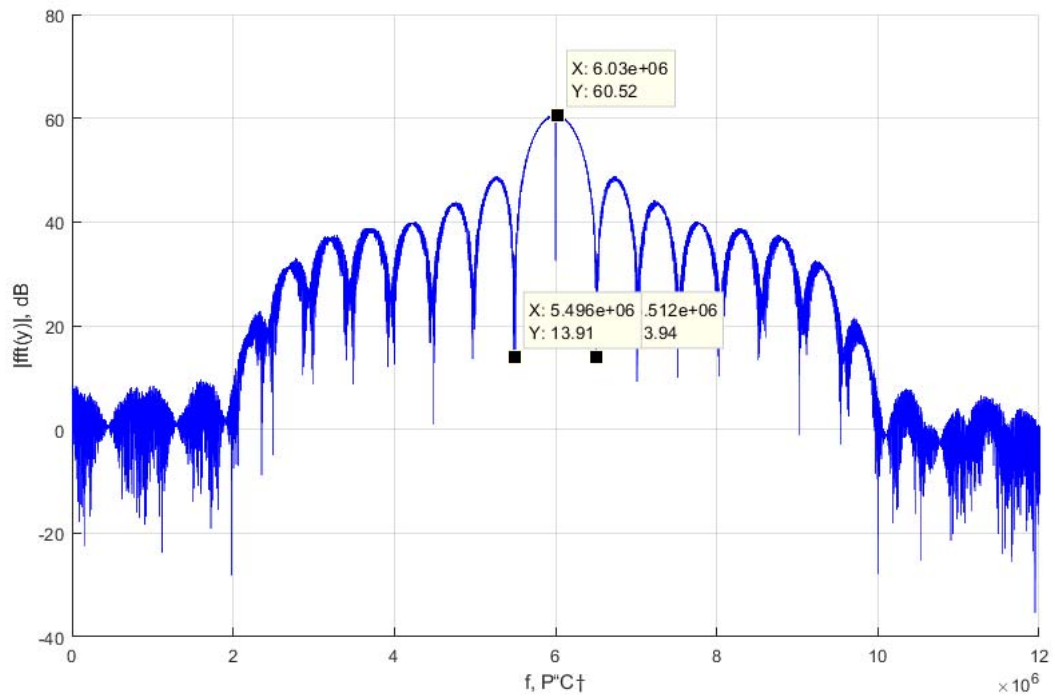


Рисунок 9 - Спектр радиосигнала при полосе фронта 6 МГц

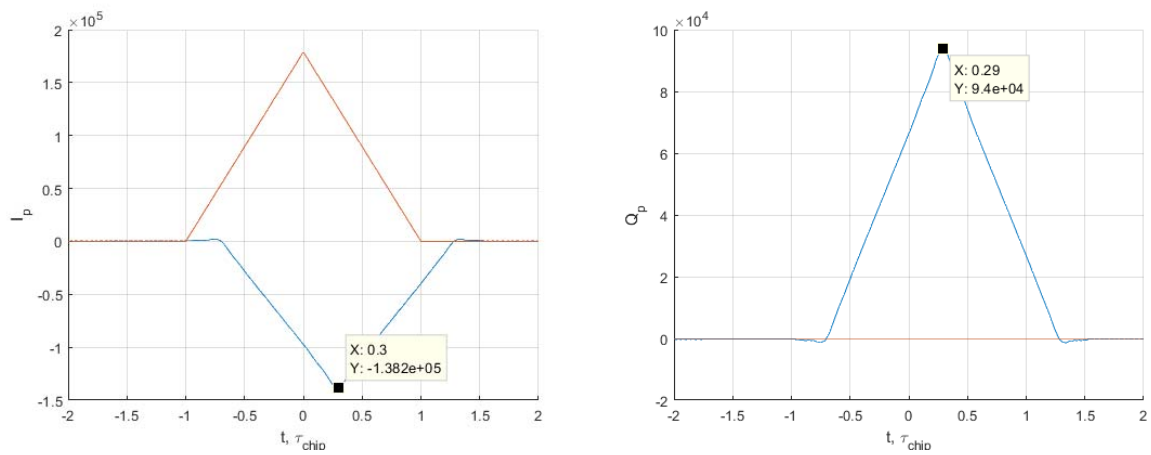


Рисунок 10 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта 6 МГц

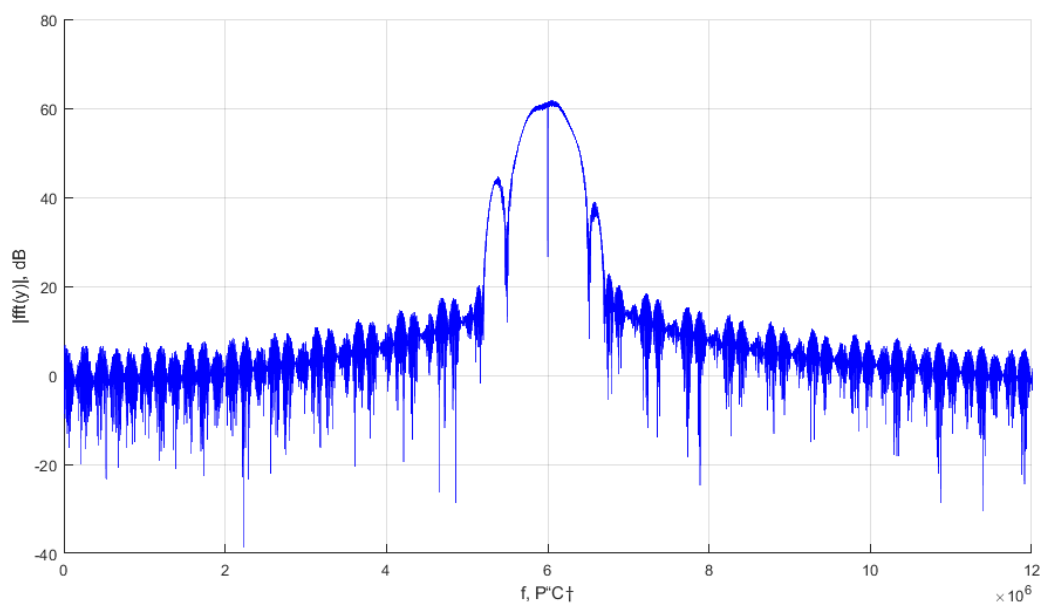


Рисунок 11 - Спектр радиосигнала при полосе фронтеда 1 МГц

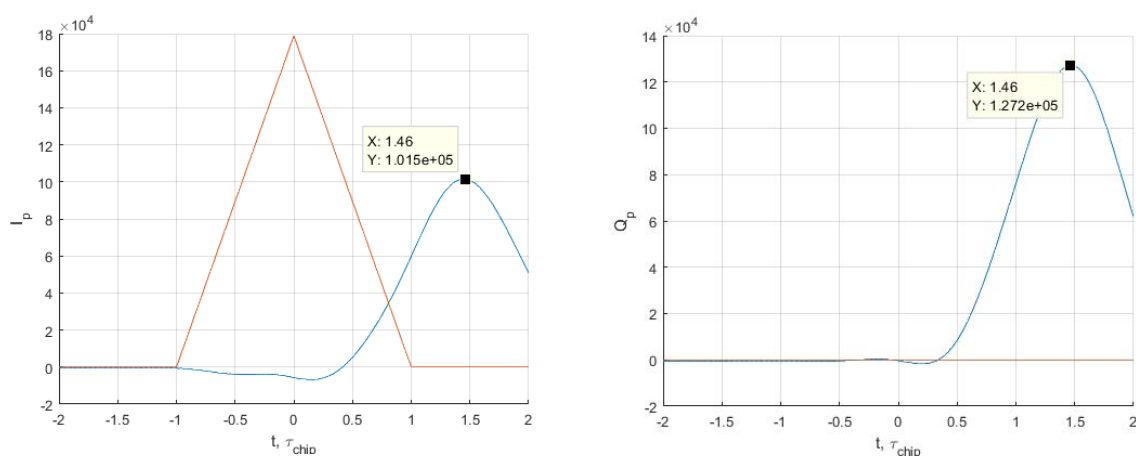


Рисунок 12 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронтеда 1 МГц

Групповое время запаздывания для фронтеда равной 6 МГц, равно 0.29 мкс, а для 1 МГц равно 1.46 мкс

- В качестве значения полосы фронтеда выбрать «6 МГц». Перенести в отчет наглядный отрезок сигнала. Включить шум. Сравнить квадрат СКО шума (считая размах за 3 СКО) и мощность сигнала. Определить отношение мощности сигнала к односторонней спектральной плотности шума:  $q_{c/no} = \frac{P_s}{N_0}$  (привести к размерности дБГц). Перенести в отчет отрезок реализации сигнала в смеси с шумом, корреляционные функции.

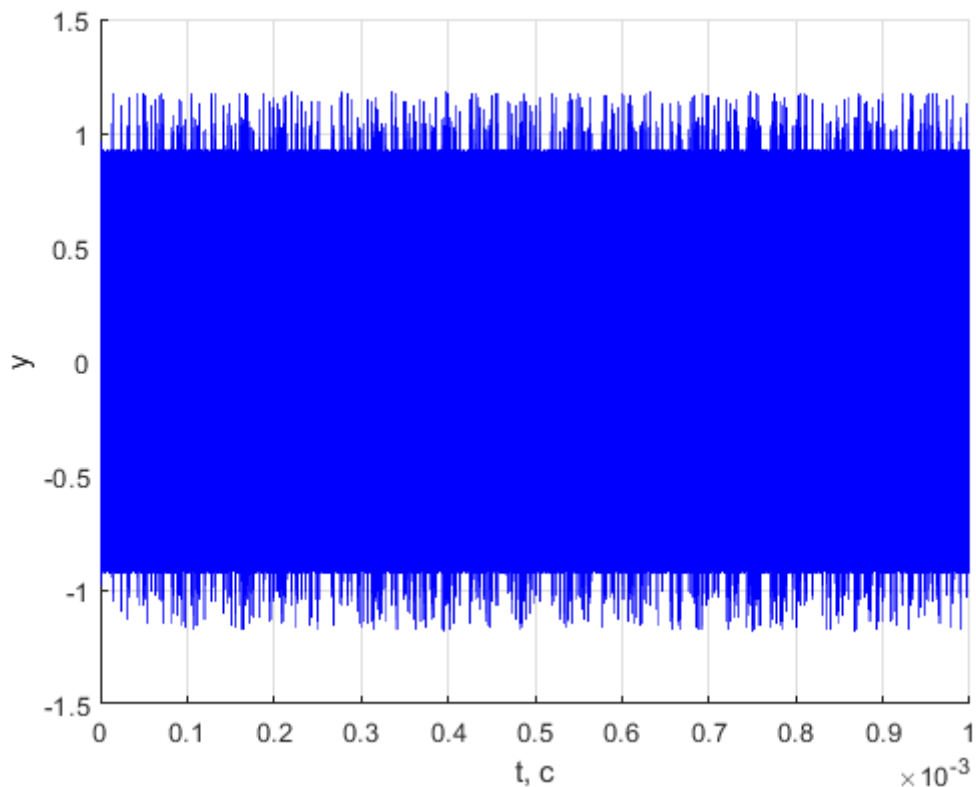


Рисунок 13 — Сигнал без шума

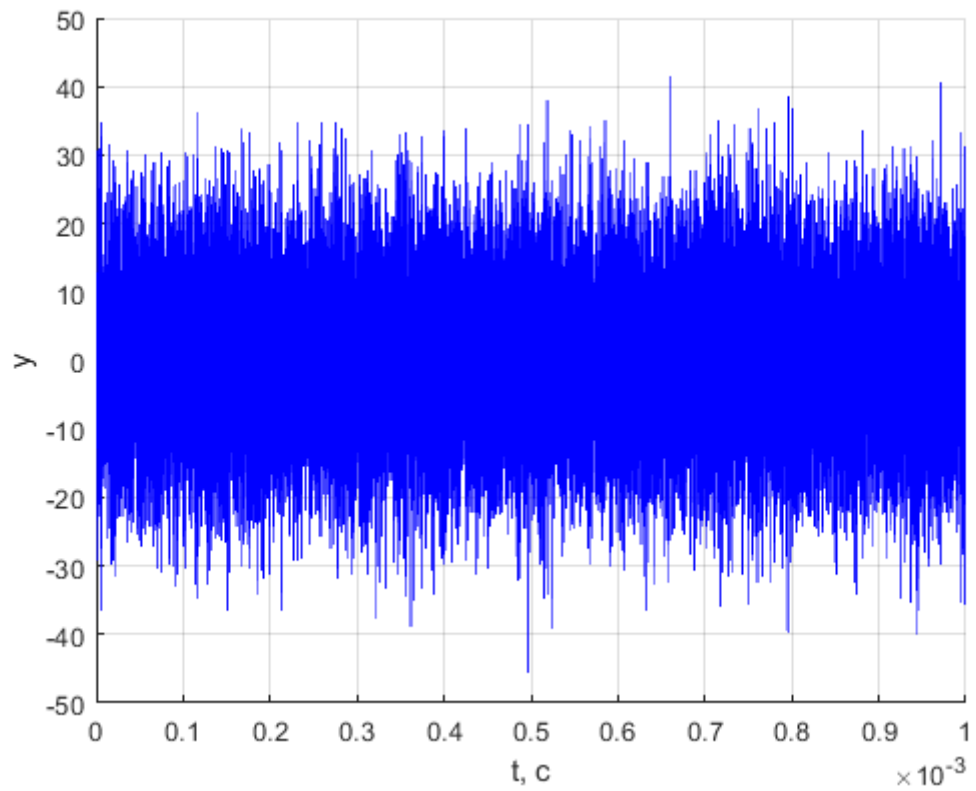


Рисунок 14 — Реализация шума

СКО шума:  $\sigma_n \approx 10 B$

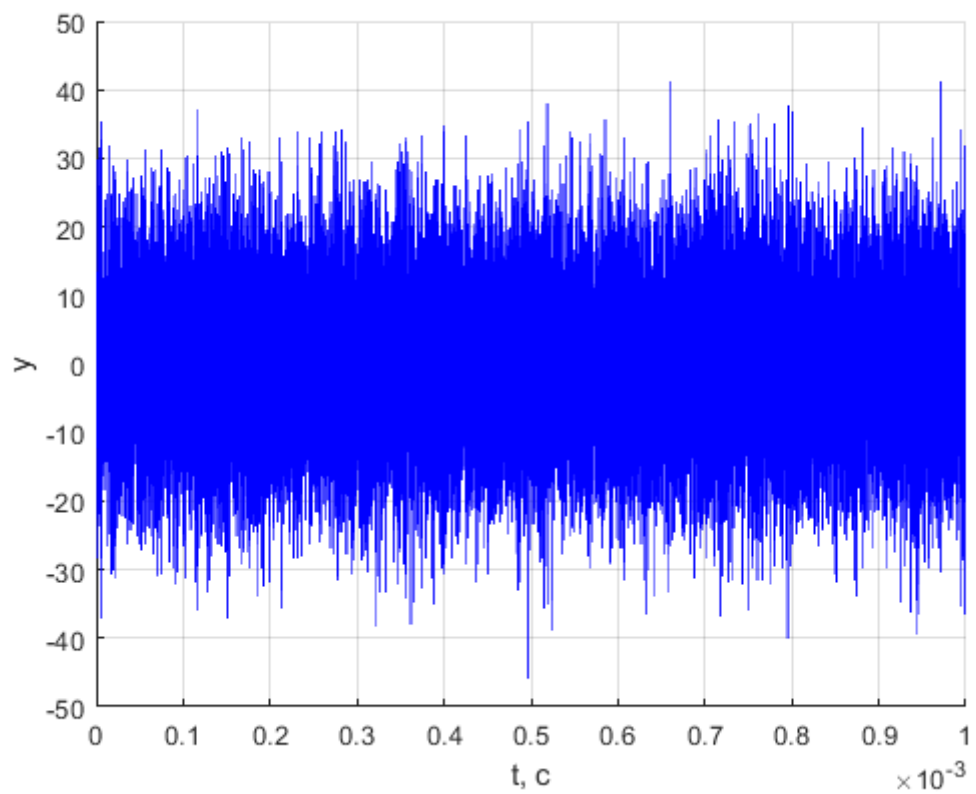


Рисунок 15 — Сигнал с шумом

Отношение сигнал-шум:

$$q_{c/N_0} = \frac{P_s}{N_0} = \frac{U^2}{2 \cdot D_n T_{d\phi}} = \frac{U^2 \cdot F_d}{2 \cdot \sigma_n^2} = \frac{1 \cdot 51 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^2} = 2.55 \cdot 10^5 \text{ раз} = 54 \text{ дБГц}$$

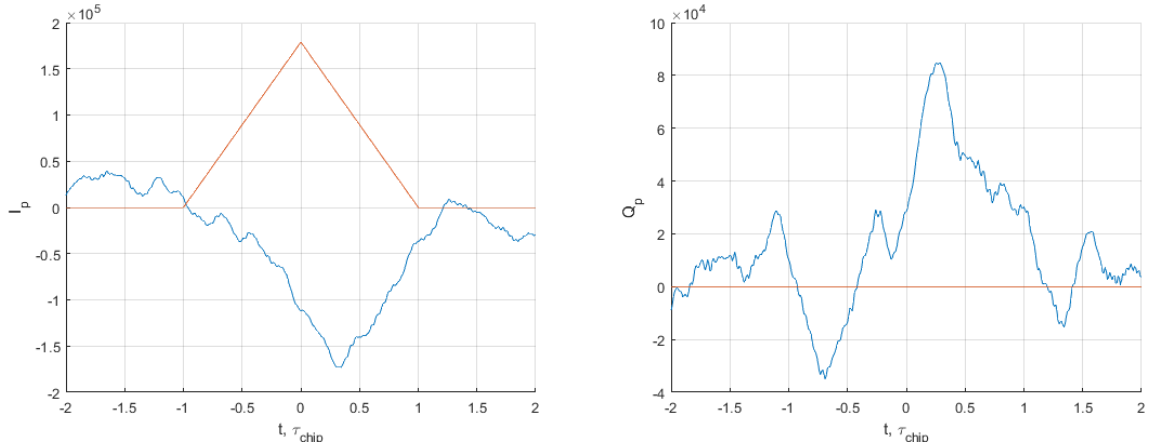


Рисунок 16 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний

- Наблюдать за изменением шумовой составляющей корреляционных функций при изменении полосы фронтенда. Исследовать зависимость мощности шумовой составляющей корреляционных компонент от полосы фронтенда, сделать соответствующие записи в отчете.

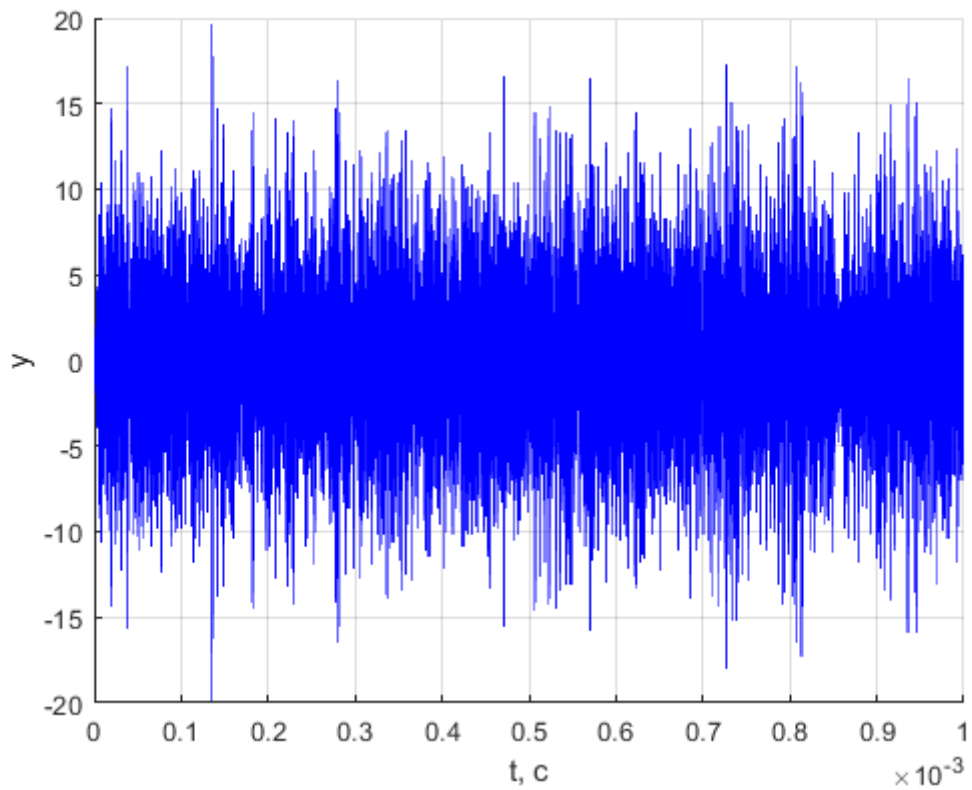


Рисунок 17 — Сигнал с шумом при 1 МГц и наличием шума

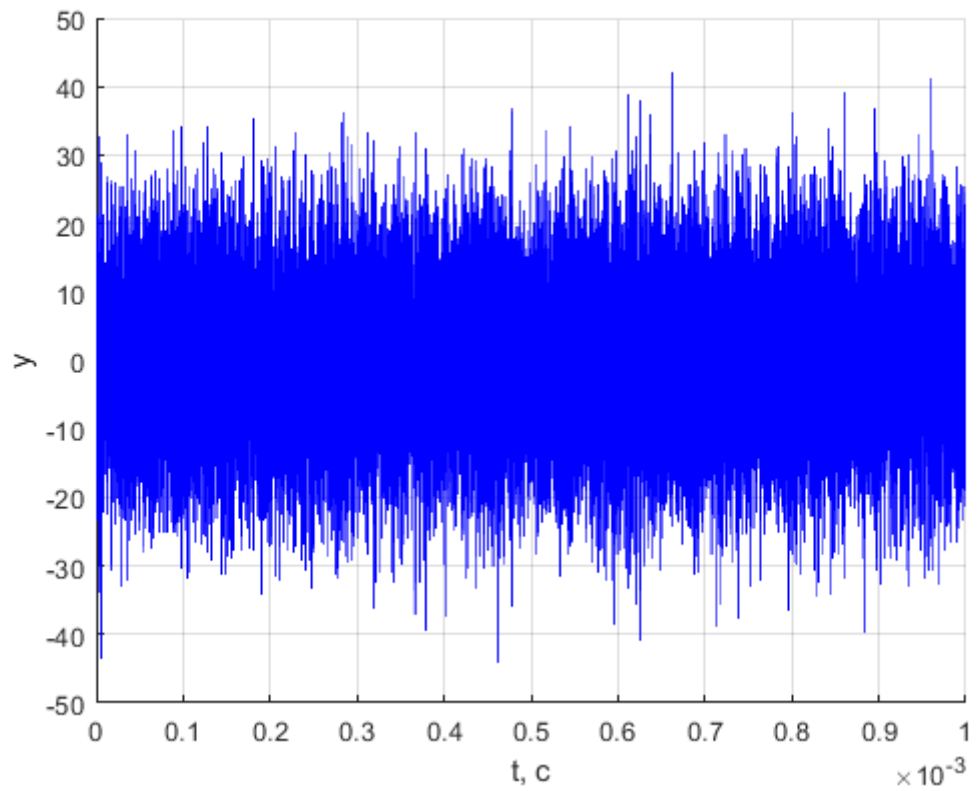


Рисунок 18 — Сигнал с шумом при 6 МГц и наличием шума

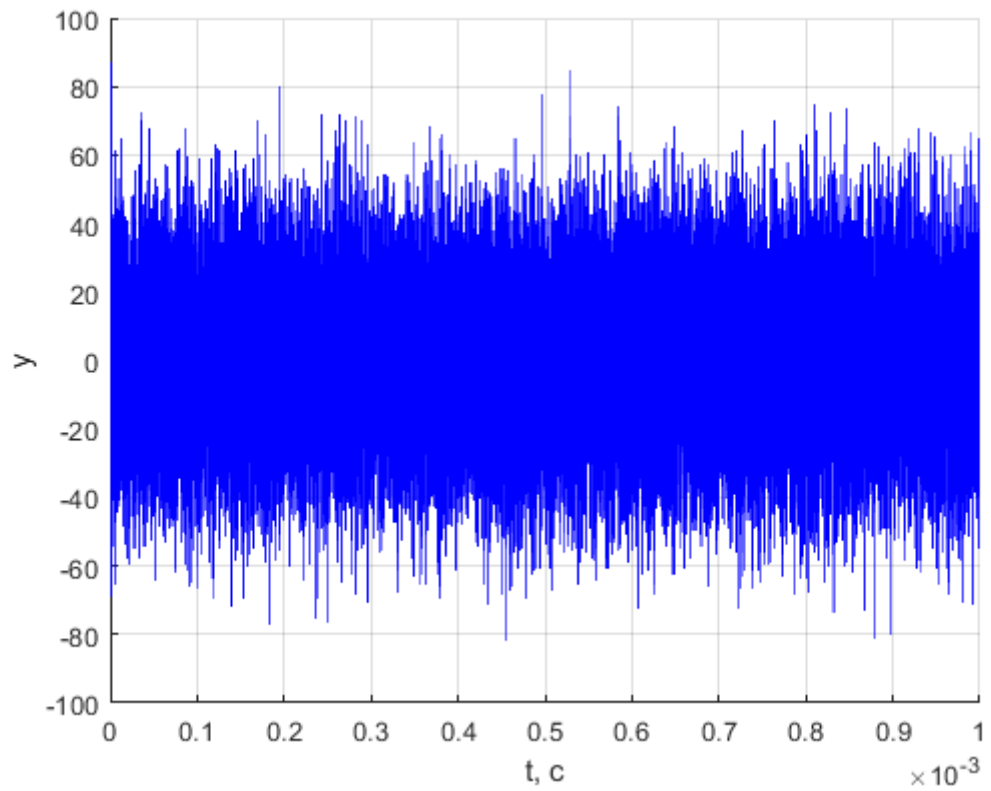


Рисунок 19 — Сигнал с шумом при полосе фронтеда – бесконечность  
и наличием шума

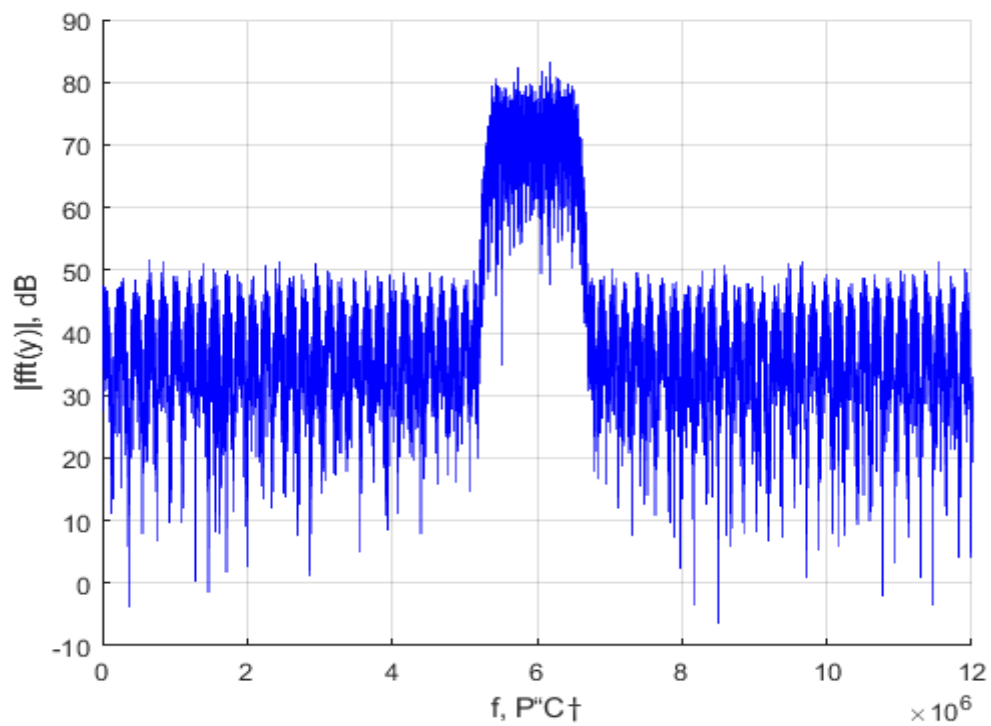


Рисунок 20 - Спектр радиосигнала при полосе фронтенда 1 МГц и наличием шума

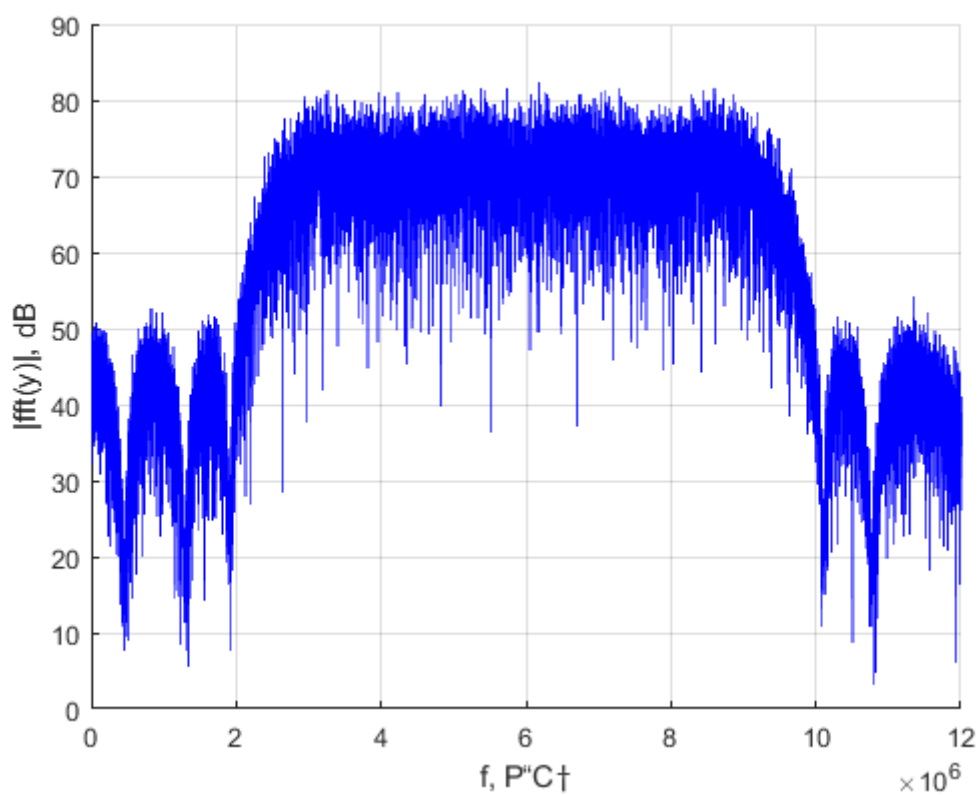


Рисунок 21 - Спектр радиосигнала при полосе фронтенда 6 МГц и наличием шума



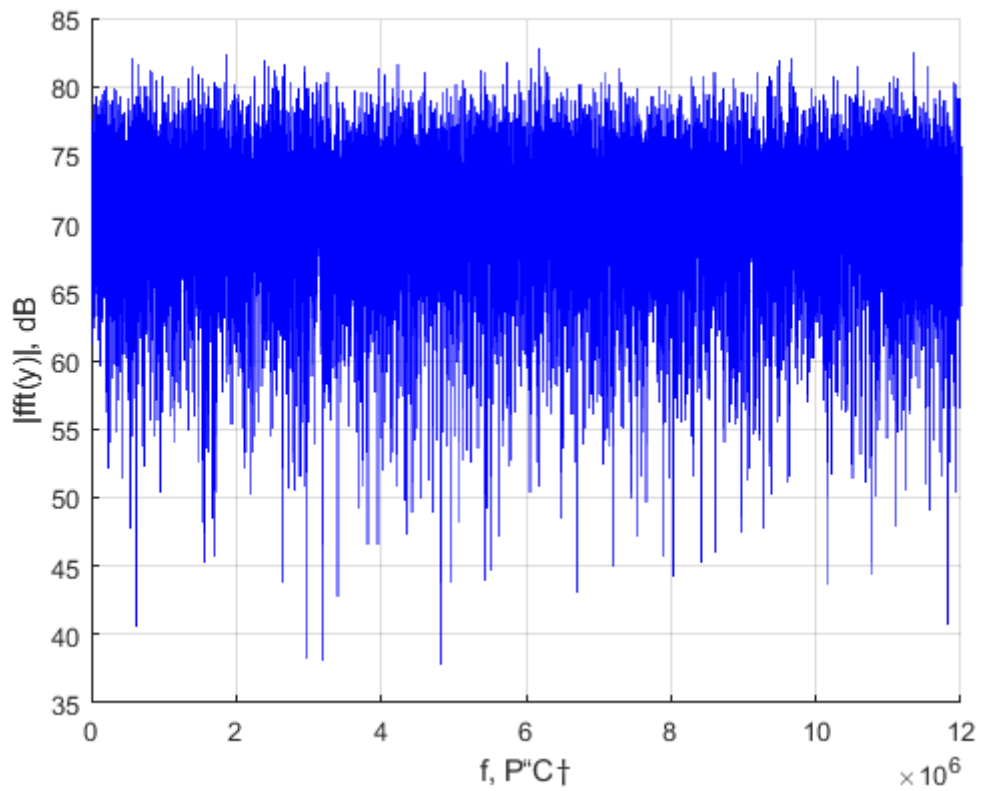


Рисунок 22 - Спектр радиосигнала при полосе фронта бесконечность и наличием шума

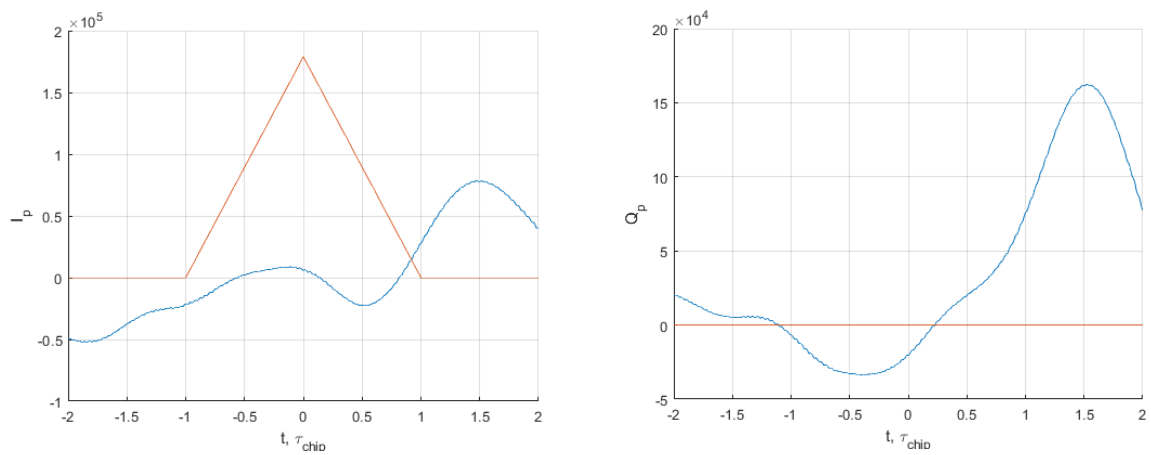


Рисунок 23 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта 1 МГц и наличием шума

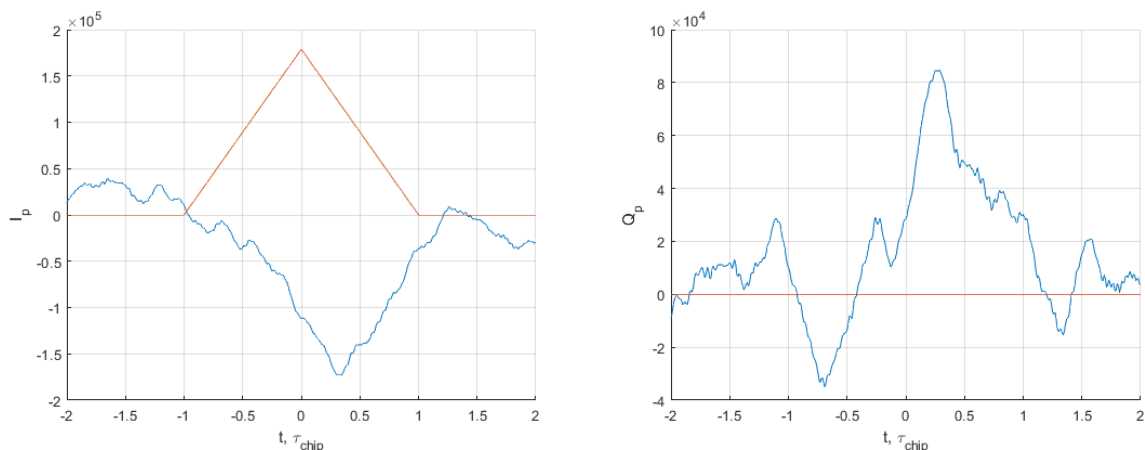


Рисунок 24 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта 6 МГц и наличием шума

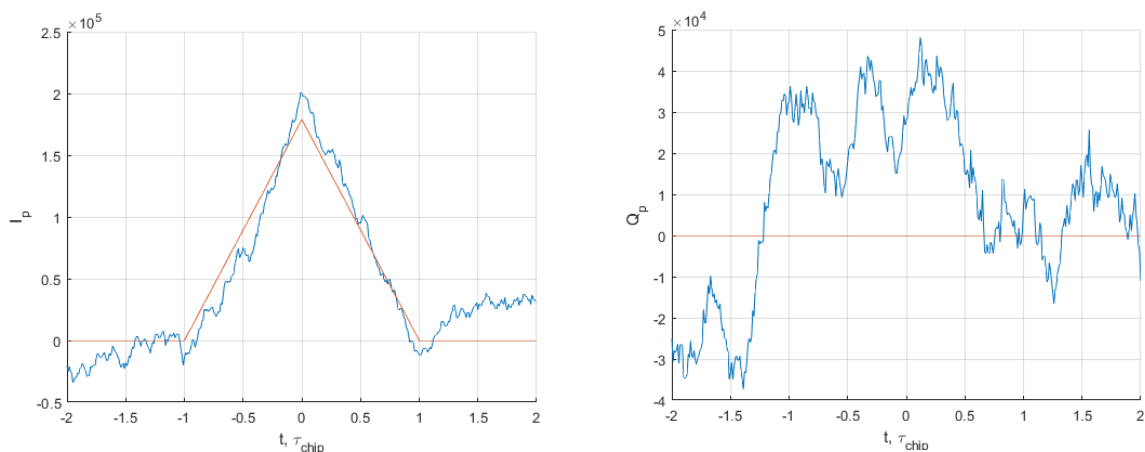


Рисунок 25 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта равной бесконечности и наличием шума

Можно заметить, что при сужении полосы фронта уменьшается уровень боковых лепестков спектра сигнала

- Включить шум. Исследовать влияние квантования входных отсчетов и опорных сигналов на корреляционные суммы.

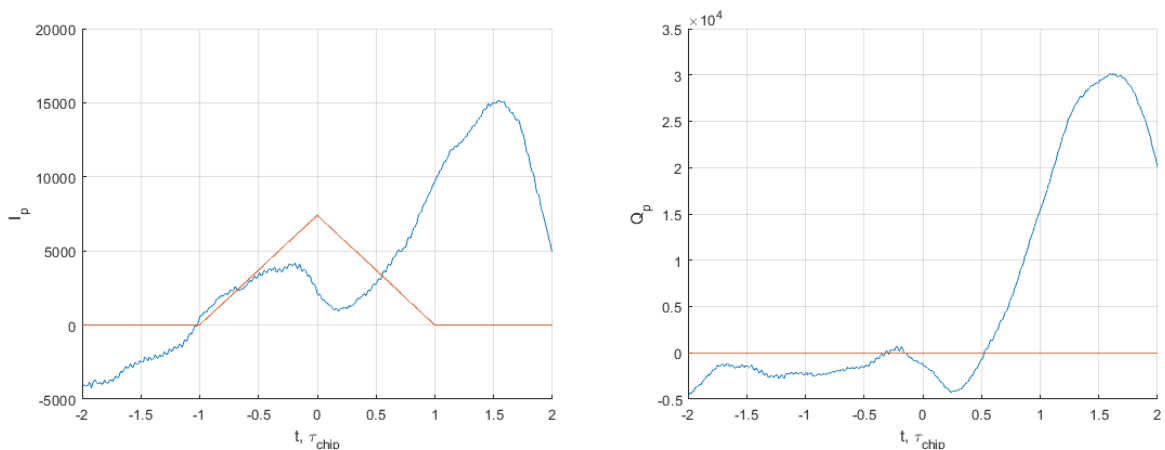


Рисунок 26 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта равной 1 МГц, наличием помехи и включенным квантователем отсчетов АЦП

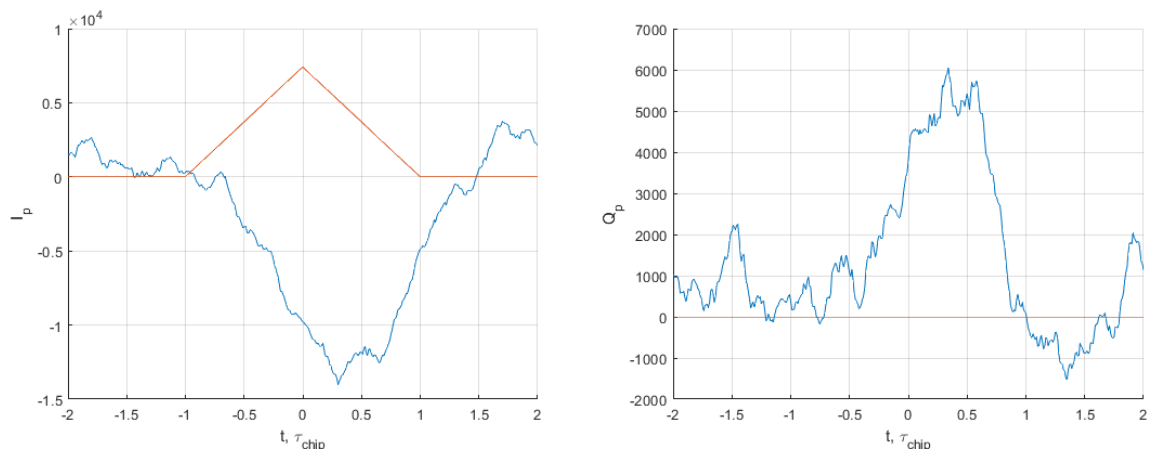


Рисунок 26 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта равной 6 МГц, наличием помехи и включенным квантователем отсчетов АЦП

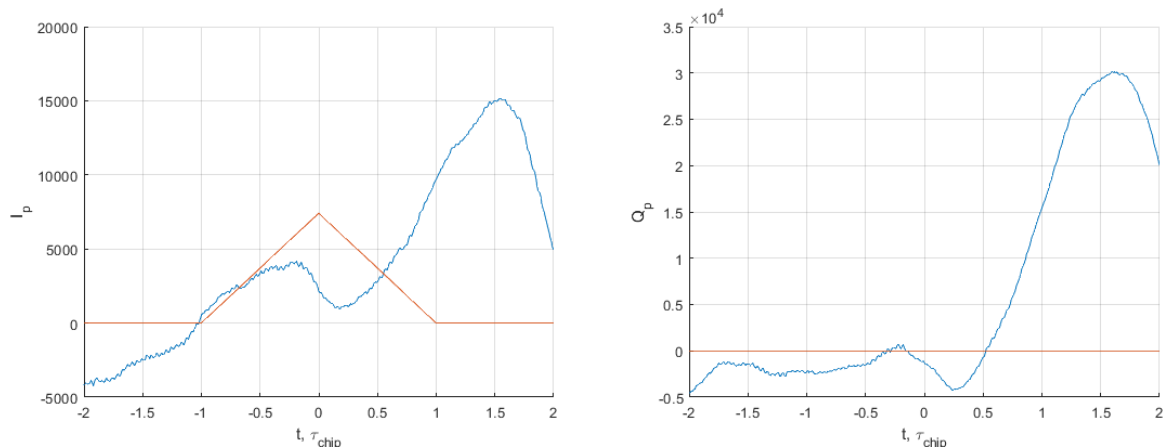


Рисунок 27 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта равной бесконечность, наличием помехи и включенным квантователем отсчетов АЦП

С расширением полосы фронта происходит увеличение ошибки квантования при аналого-цифровом преобразовании. Малая разрядность добавляет аддитивный шум квантования. Отношение сигнал/шум немного снижается.

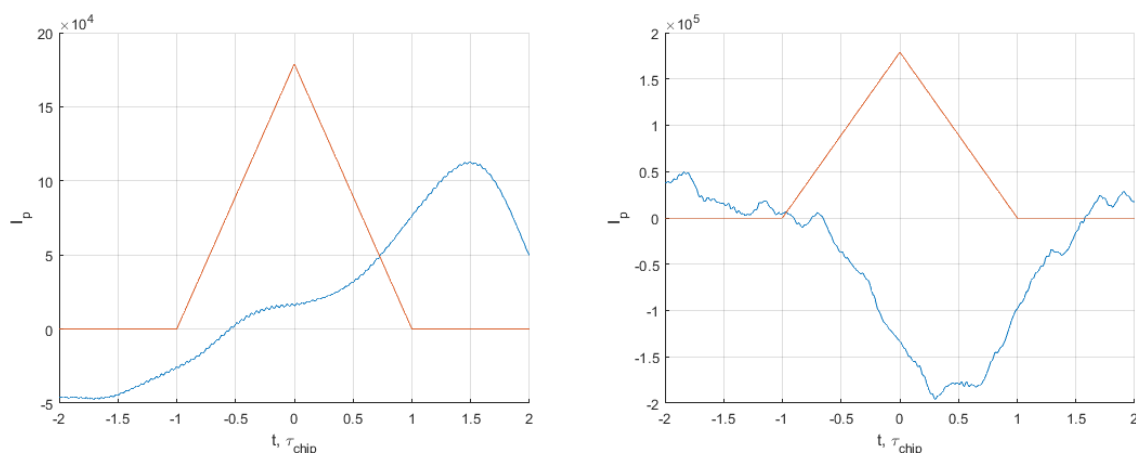


Рисунок 28 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта равной 1 МГц, наличием помехи

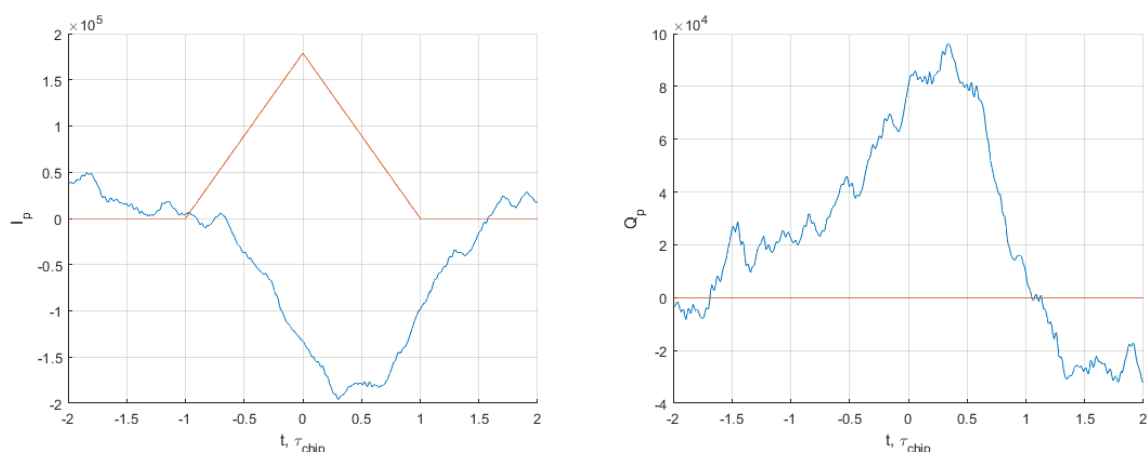


Рисунок 29 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта равной 6 МГц, наличием помехи

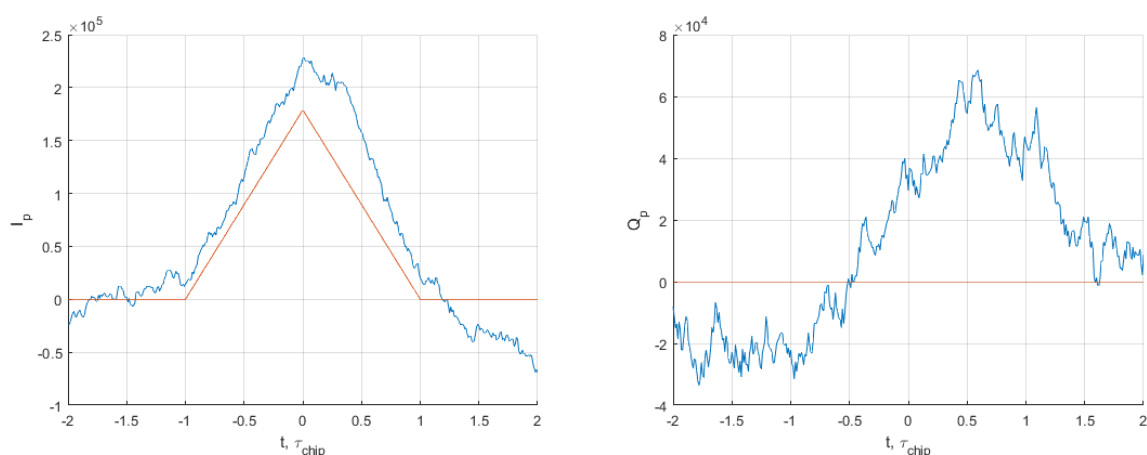


Рисунок 30 — Графики вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний при полосе фронта равной бесконечность, наличием помехи

Вывод: Увеличивается корреляционный пик с появлением помехи.

- Установить нулевую ошибку по частоте. В отсутствии узкополосной помехи при наличии шума приемника провести исследование процессов в пошаговой модели коррелятора.

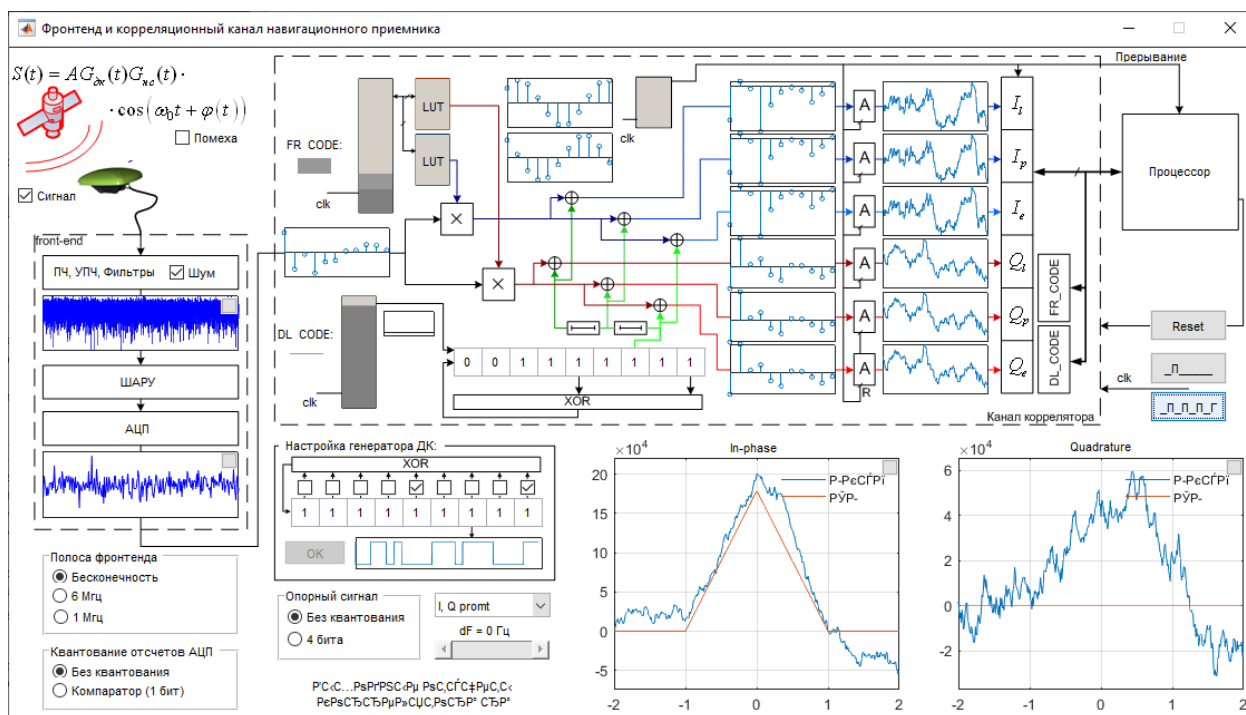


Рисунок 31 – Пошаговая модель коррелятора при полосе фронтеда равной бесконечности

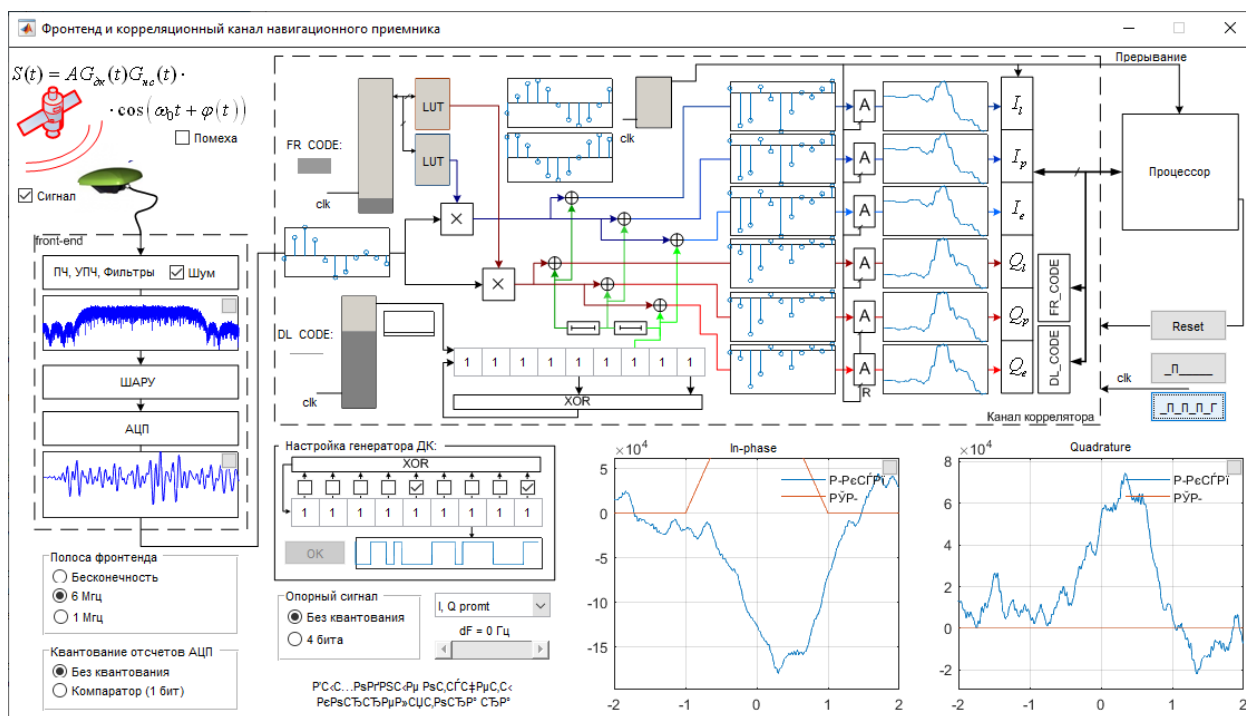


Рисунок 32 – Пошаговая модель коррелятора при полосе фронтеда равной 6 МГц

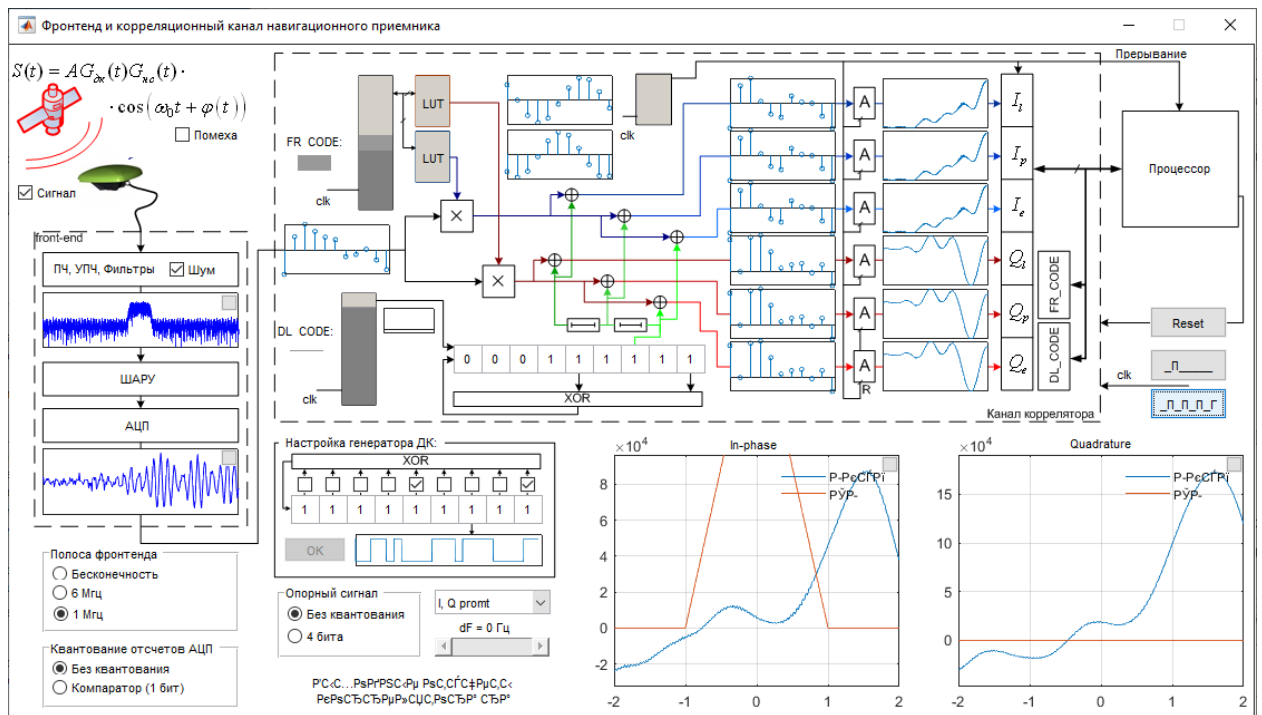


Рисунок 32 – Пошаговая модель коррелятора при полосе фронтеда равной 1 МГц

Вывод: рассмотрели структуру формирования дальномерного кода для ГЛОНАСС L1 СТ и GPS L1 C/A, исследована структура и свойства функциональных элементов коррелятора АП СРНС. Были определены по графикам групповое запаздывание, СКО и отношение сигнал-шум. Исследовали зависимость ширины полосы фронтеда от спектра радиосигнала, от зависимости вычисленных корреляционных сумм как функции разности задержек дальномерных кодов сигнала и опорных колебаний, от квантования отсчетов АЦП и от присутствия помех.

