

Национальный исследовательский университет  
«МЭИ»  
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
Кафедра радиотехнических систем  
Аппаратура потребителей спутниковых радионавигационных систем

Лабораторная работа №2  
«Исследование коррелятора АП СРНС ГЛОНАСС с помощью имитационной  
модели»

Группа: ЭР-15-17  
ФИО студента: Цымбал Г.Р.  
ФИО преподавателя: Корогодин И.В.

Оценка: \_\_\_\_\_  
Дата: \_\_\_\_\_  
Подпись: \_\_\_\_\_

Москва

2021

### Цели 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

Приведём схемы блоков формирования дальномерного кода сигнала GPS L1 C/A:

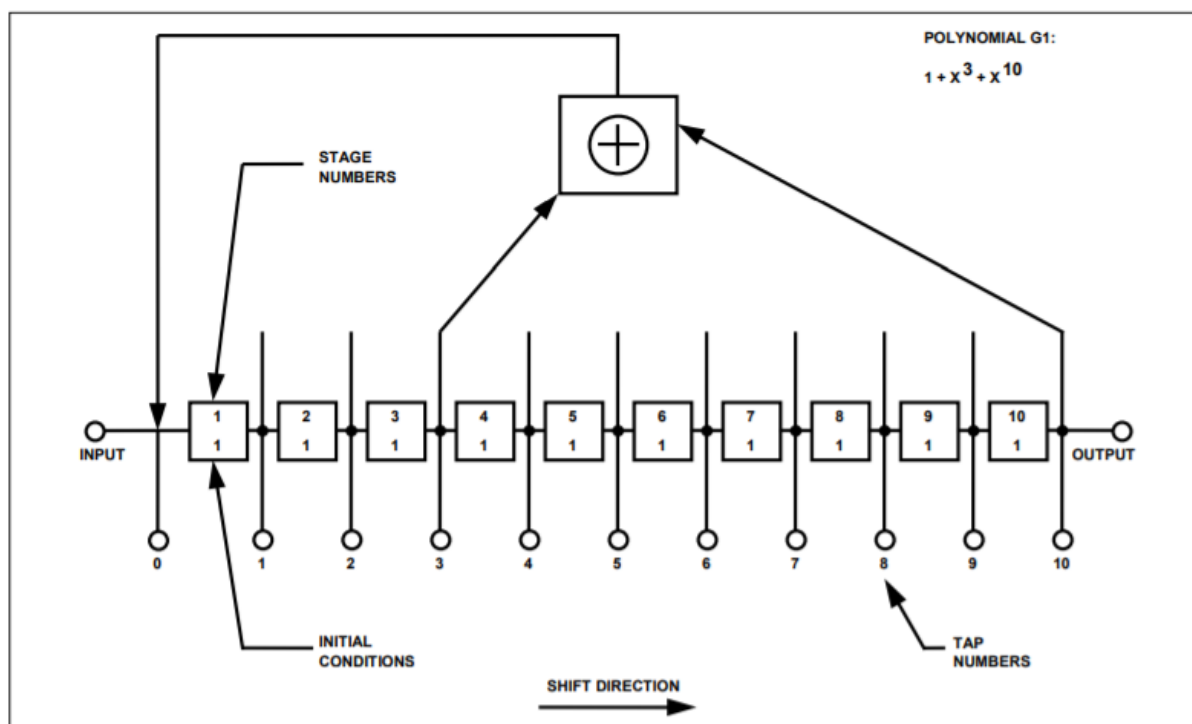


Рисунок 1 – Конфигурация сдвигового регистра G1

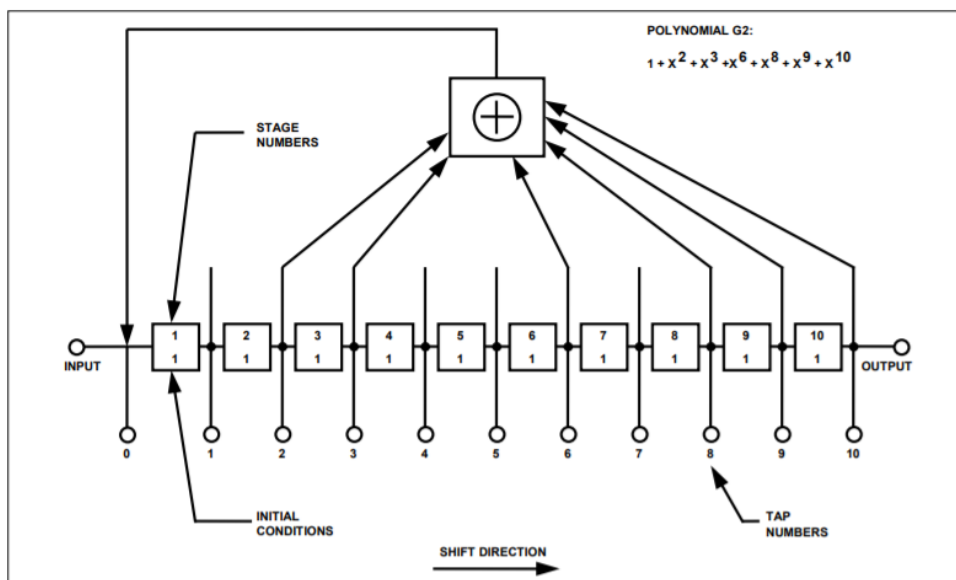


Рисунок 2 – Конфигурация сдвигового регистра G2

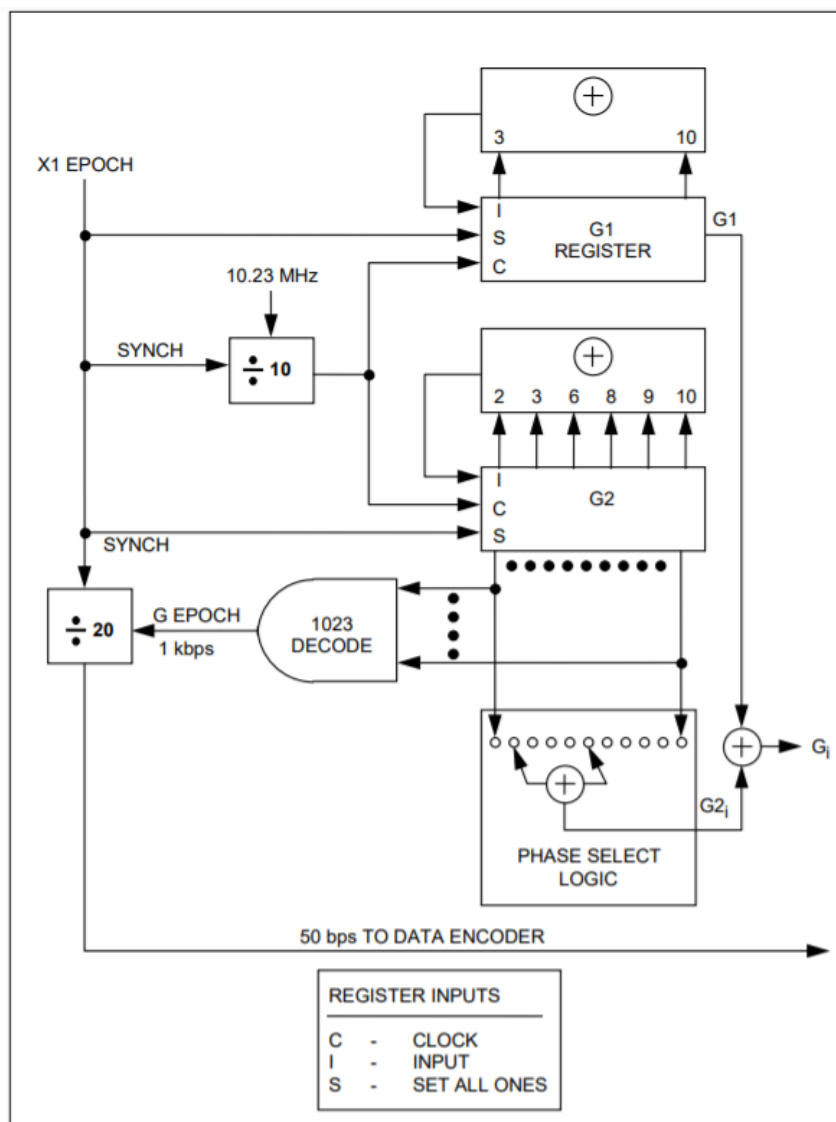


Рисунок 3 – Структурная схема формирования дальномерного кода

Приведём схемы блоков формирования дальномерного кода сигнала ГЛОНАСС L1 СТ:

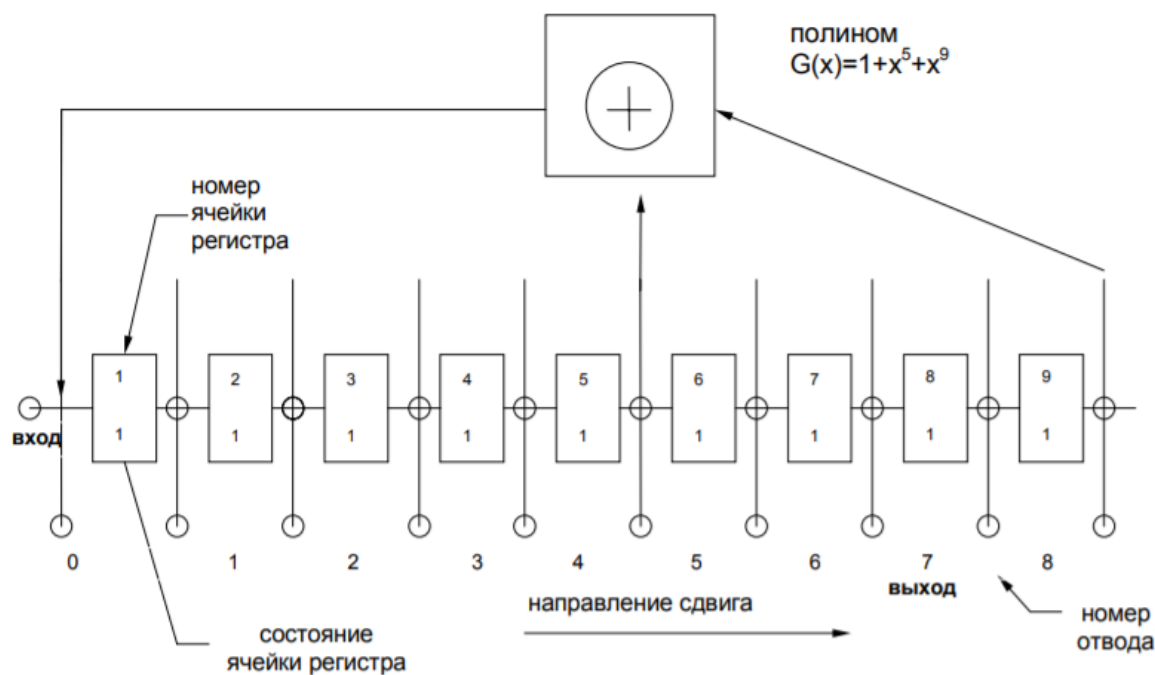


Рисунок 4 – Структура регистра сдвига, формирующего дальномерный код

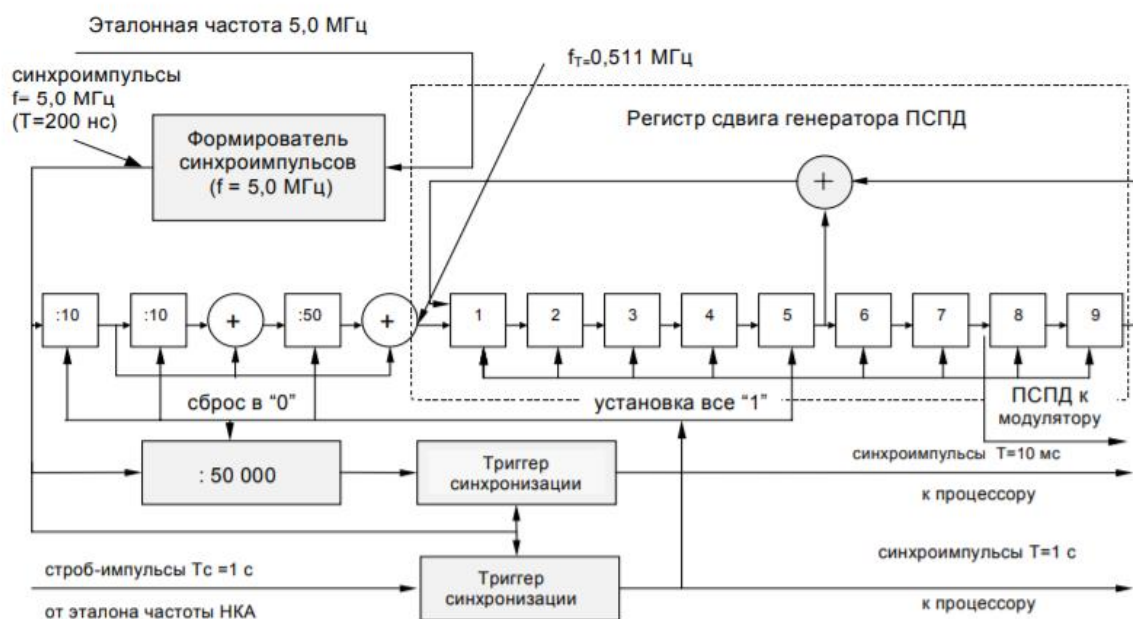


Рисунок 5 – Структурная схема формирования дальномерного кода ПСПД и синхроимпульсов для навигационного радиосигнала

Приведём выражения для статистических эквивалентов выходных отсчетов коррелятора:

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

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

## Лабораторное исследование

### Пункт 1

Отключим шум приемного устройства. В качестве значения полосы фронтенда выберем «Бесконечность». Квантование принимаемой реализации и опорного сигнала отключим. Расстройку опорного сигнала по частоте установим нулевой. На основании ИКД установим параметры схемы формирования ДК. Перенесём схему в отчет. Занесём в отчет вычисленные корреляционные функции. Определим промежуточную частоту сигнала, полосу сигнала:

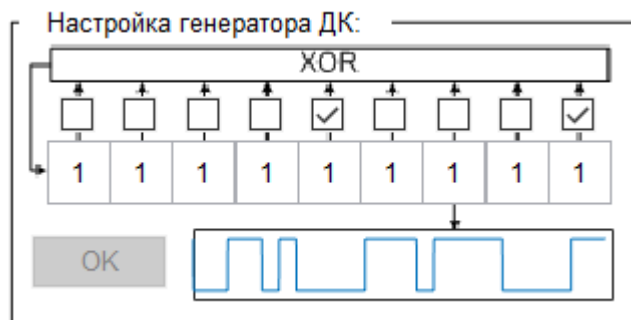


Рисунок 6 – Фрейм Настройка генератора

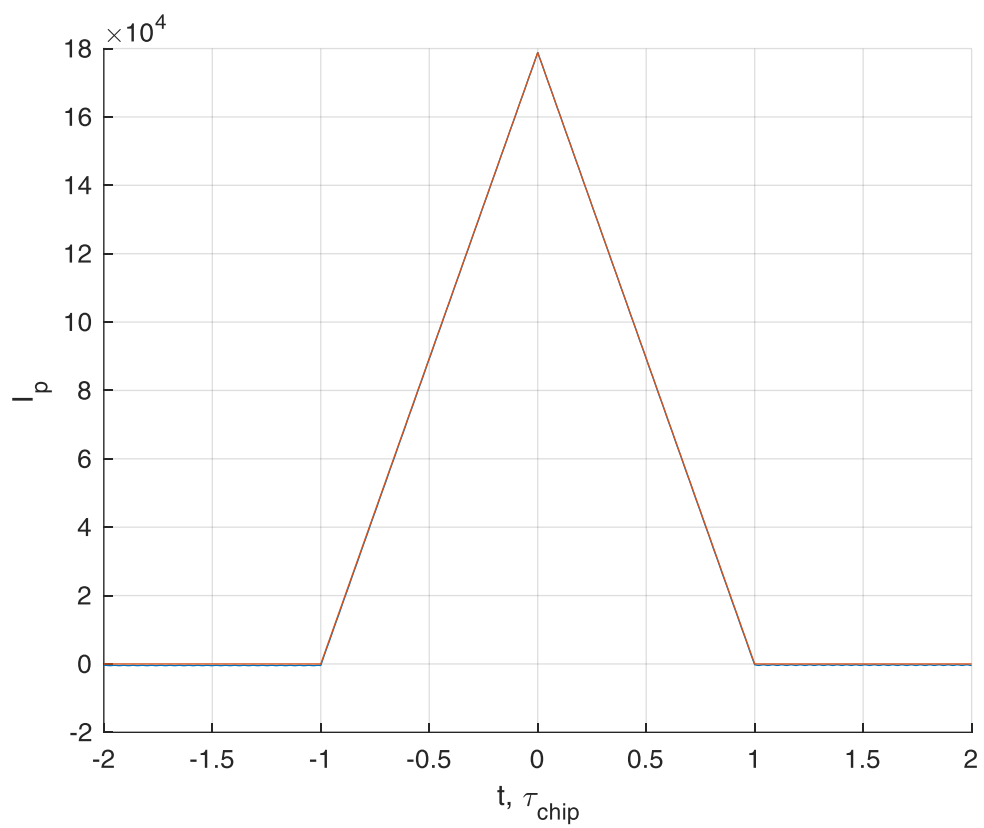


Рисунок 7 – Синфазная компонента корреляционной функции

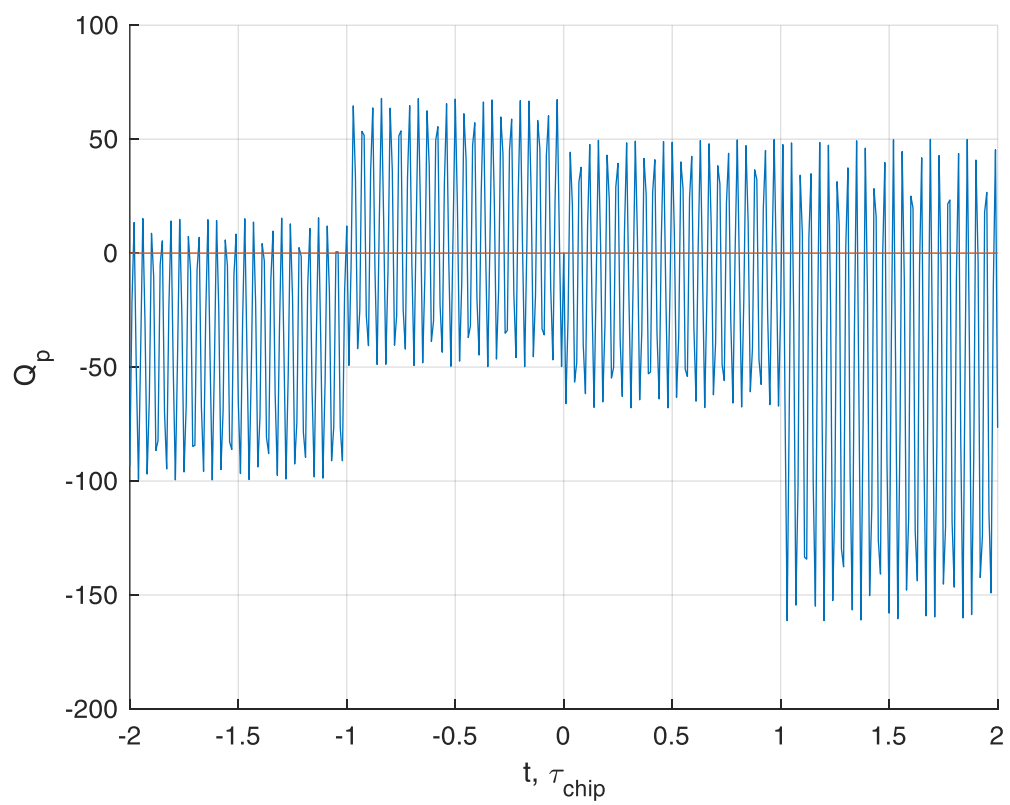


Рисунок 8 – Квадратурная компонента корреляционной функции

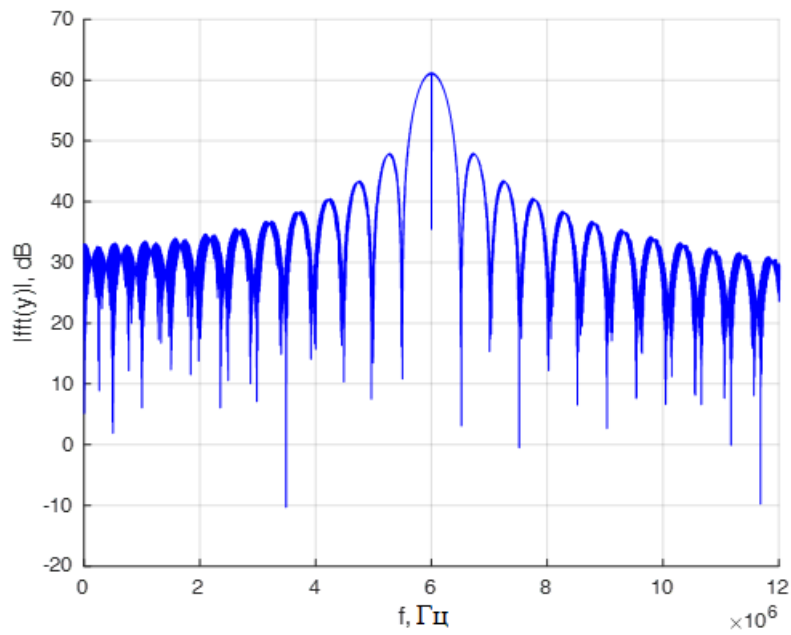


Рисунок 8 – Спектр сигнала

Комментарий к рис. 8:

Промежуточная частота спектра сигнала составляет 6 МГц;

Полоса сигнала по уровню 30 дБ составляет 1 МГц.

## Пункт 2

Установим полосу фронтеда равной 6 МГц, 1 МГц. Перенесём корреляционные функции в отчет. Оценим групповое время запаздывания.

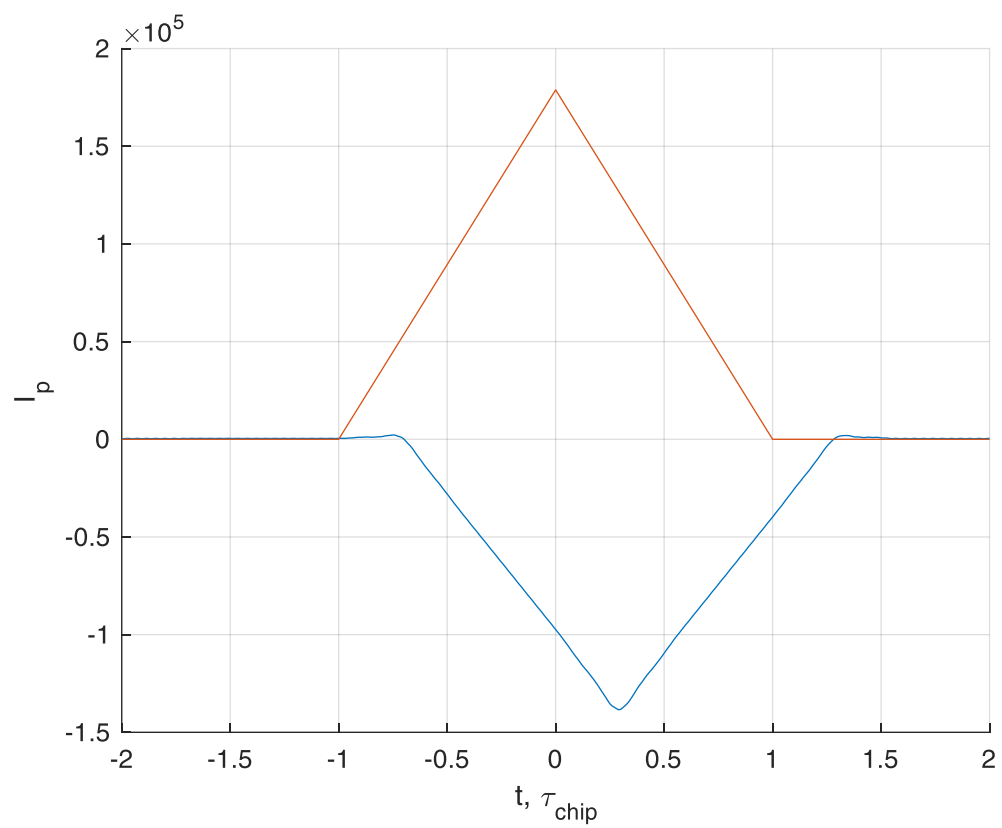


Рисунок 9 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц

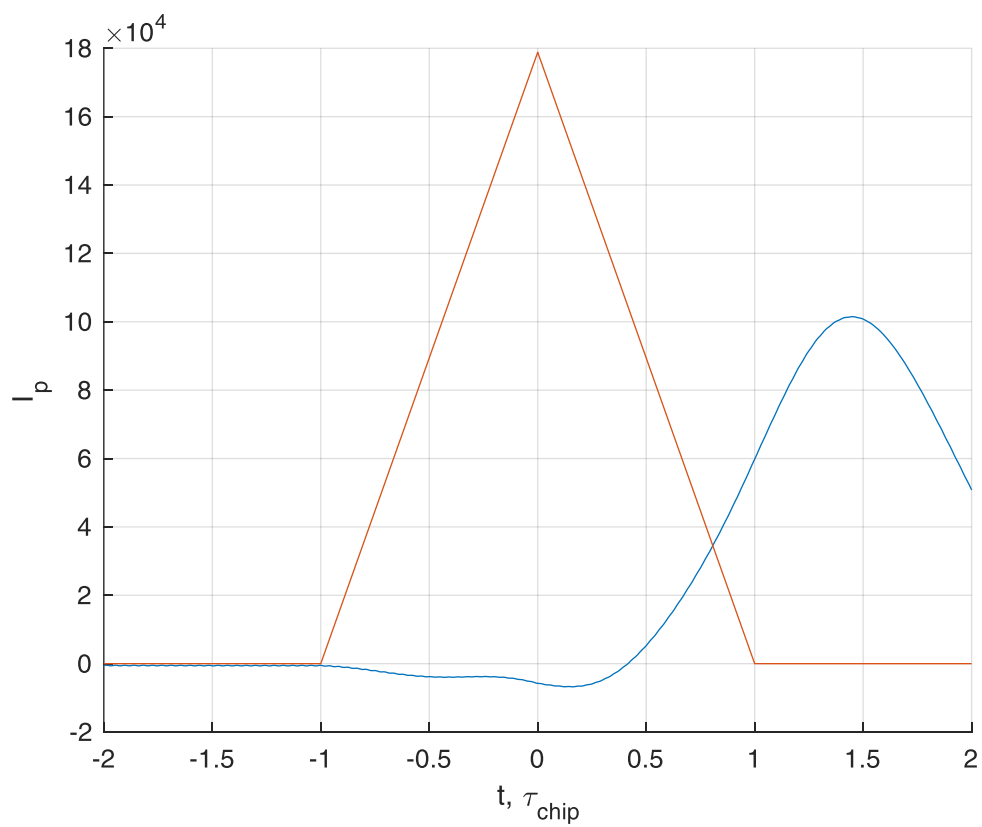


Рисунок 10 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтенда 1 МГц



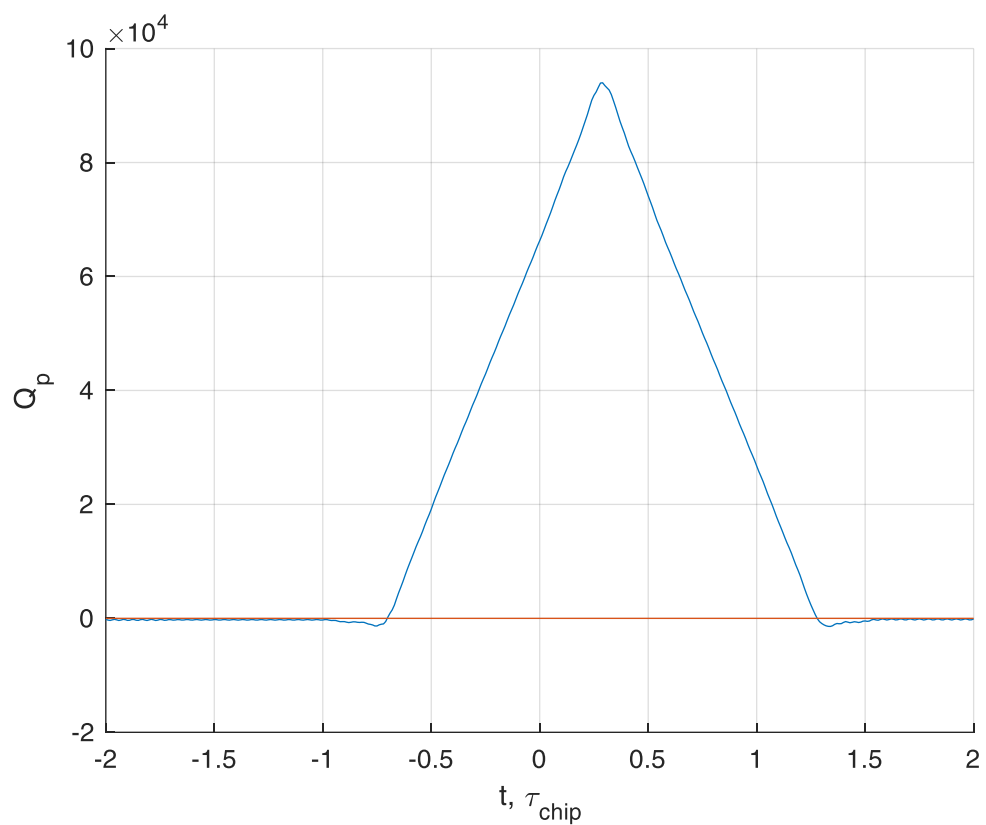


Рисунок 11 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц

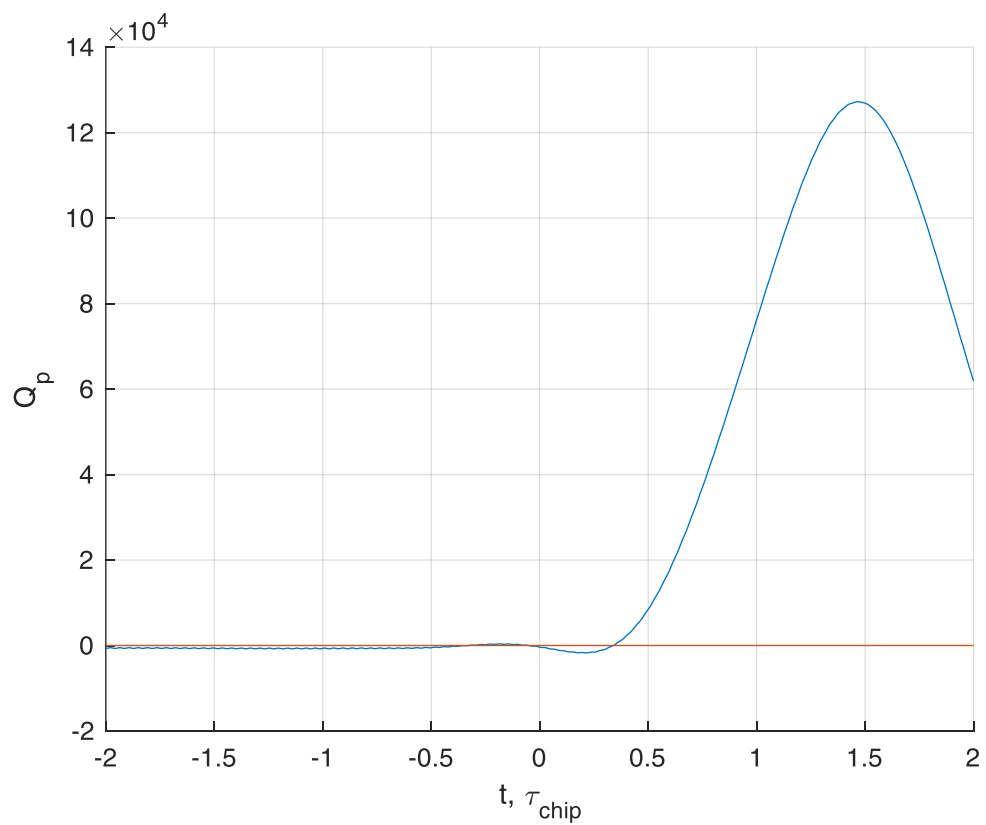


Рисунок 12 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтенда 1 МГц

Комментарий к рис. 9-10:

Оценим групповое время запаздывания:

$\tau = 1.46 \cdot \tau_{chip}$  – При полосе фронтенда 1 МГц;

$\tau = 0.3 \cdot \tau_{chip}$  – При полосе фронтенда 6 МГц.

### Пункт 3

В качестве значения полосы фронтенда выберем «6 МГц». Перенесём в отчет наглядный отрезок сигнала. Включим шум. Сравним квадрат СКО шума (считая размах за 3 СКО) и мощность сигнала. Определим отношение мощности сигнала к односторонней спектральной плотности шума:  $q_{c/n0} = \frac{P_c}{N_0}$

(приведём к размерности дБГц). Перенесём в отчет отрезок реализации сигнала в смеси с шумом, корреляционные функции.

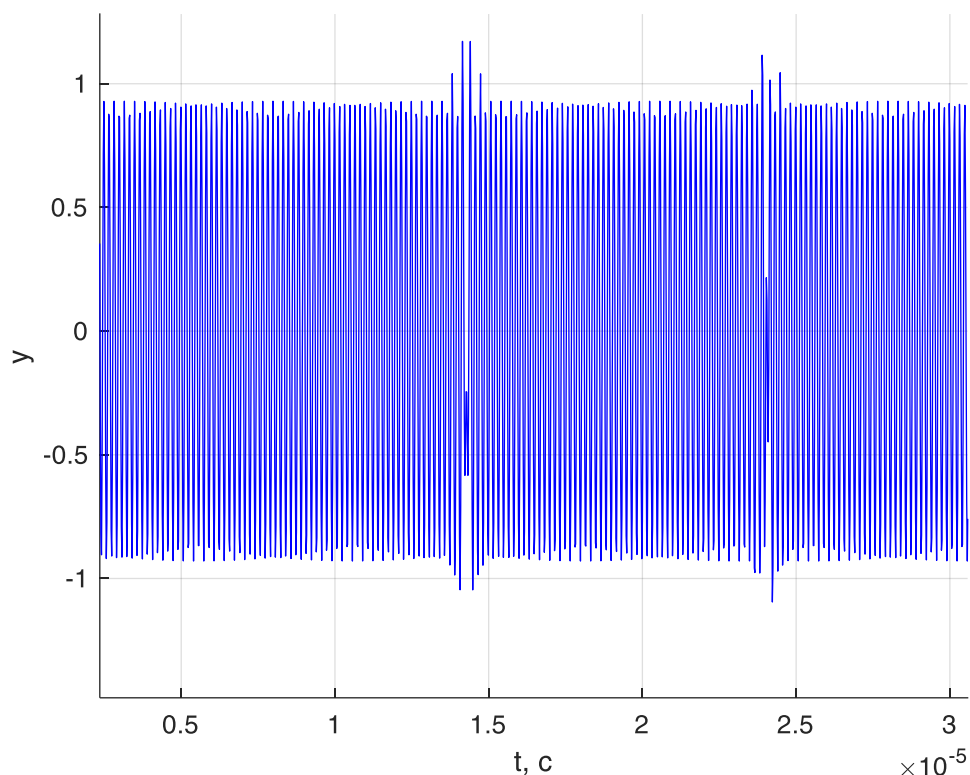


Рисунок 13 – Отрезок сигнала, соответствующий полосе фронтенда 6 МГц в отсутствии шума

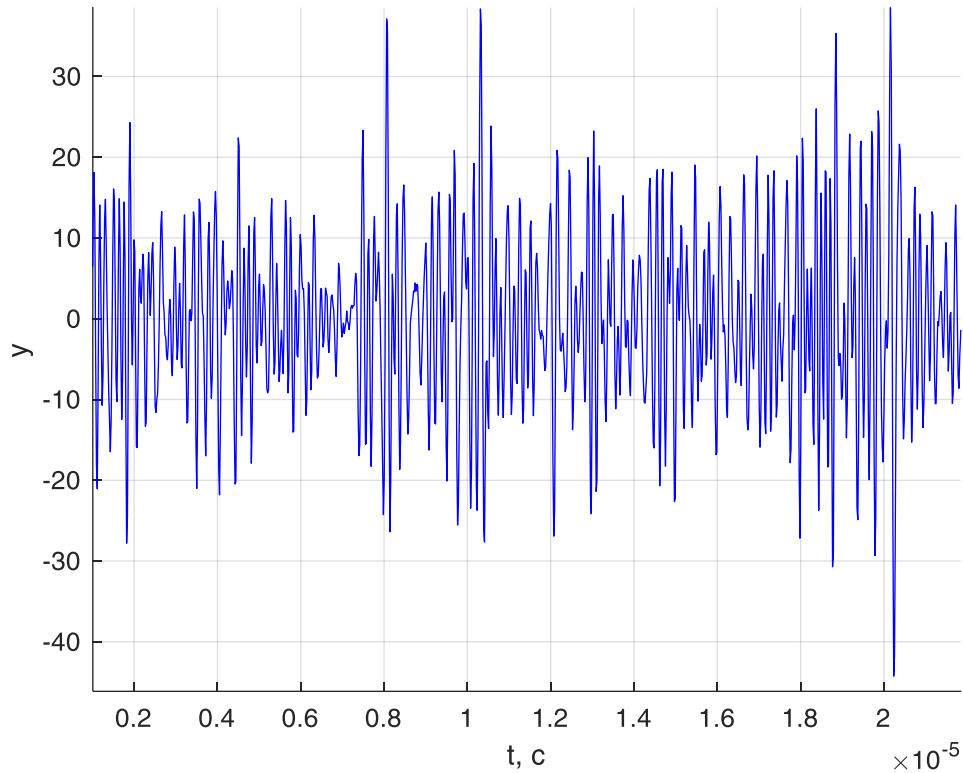


Рисунок 14 – Отрезок сигнала, соответствующий полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума

Комментарий к рис 13-14:

Квадрат СКО шума  $\sigma_n^2 = \left(\frac{45}{3}\right)^2 = 225$ ;

Мощность сигнала  $U_c^2 = 0.95^2 = 0.9025$ .

$$\frac{\sigma_n^2}{U_c^2} = \frac{225}{0.9025} = 249.3075 \approx 250 - \text{ОШС}$$

Определим отношение мощности сигнала к односторонней спектральной плотности шума:

$$q_{c/n0} = \frac{P_c}{N_0} = \frac{U_c^2}{\frac{\sigma_n^2}{\Delta F}} = \frac{0.95^2}{\left(\frac{45}{3}\right)^2} \cdot 1 \cdot 10^6 = 4.011 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$q_{c/n0, \text{дБГц}} = 10 \log_{10} q_{c/n0} = 36.0325 \text{ дБГц}$$

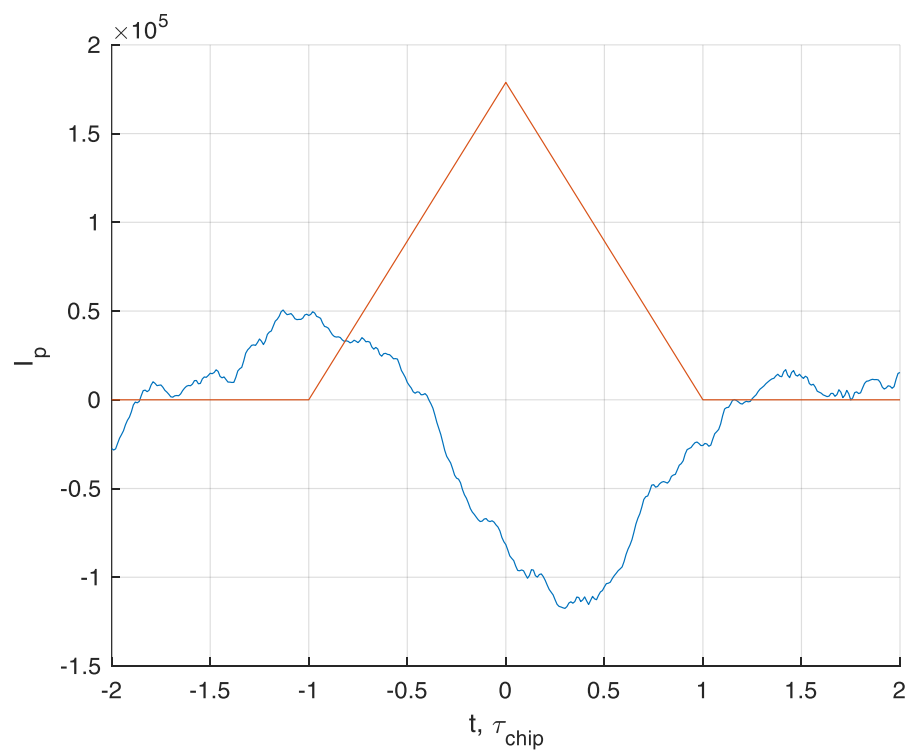


Рисунок 15 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума

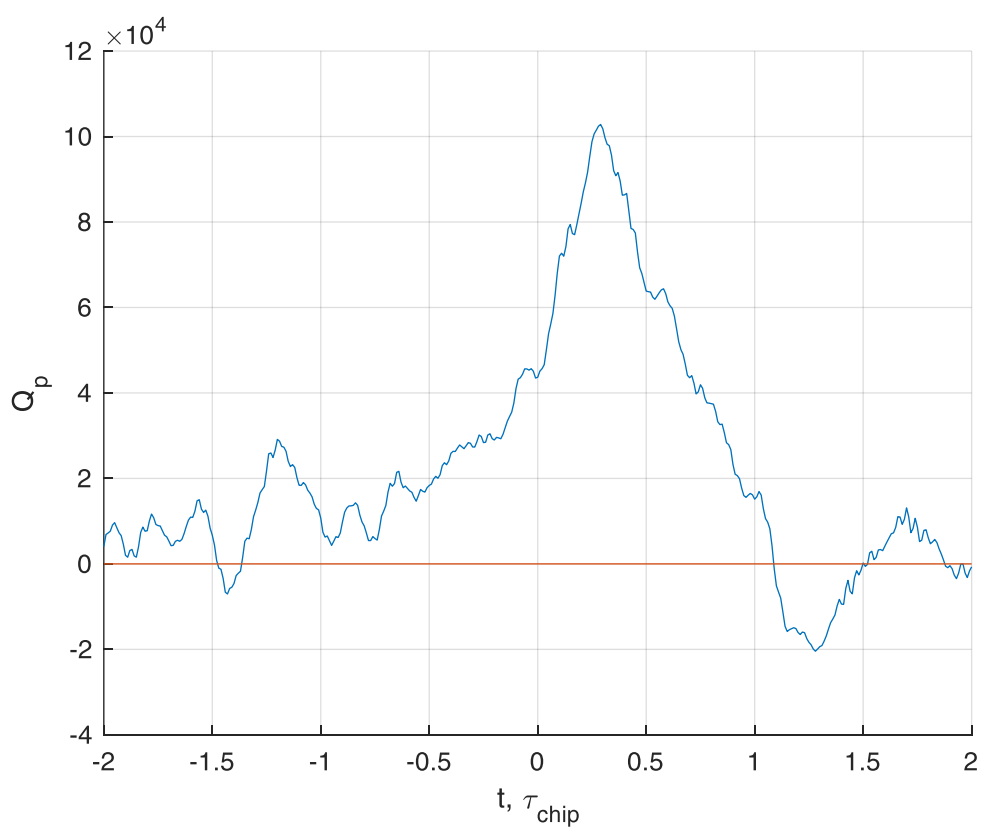


Рисунок 15 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума

#### Пункт 4

Пронаблюдаем за изменением шумовой составляющей корреляционных функций при изменении полосы фронтенда. Исследуем зависимость мощности шумовой составляющей корреляционных компонент от полосы фронтенда, сделаем соответствующие записи в отчете.

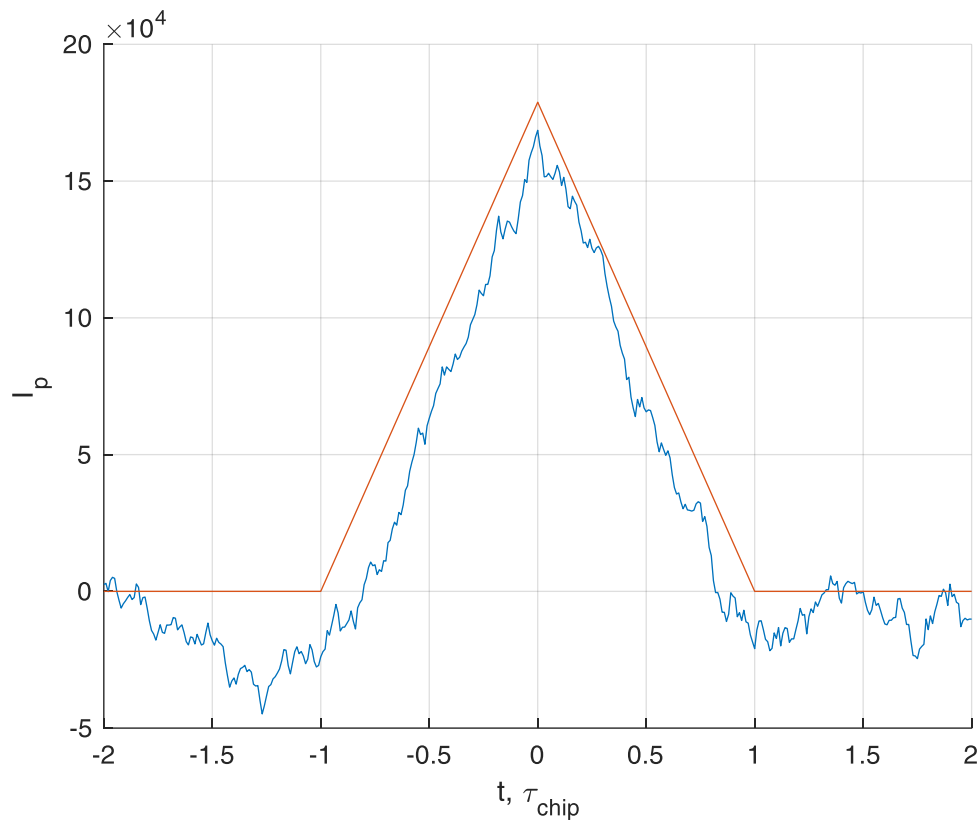


Рисунок 16 – Синфазная компонента, соответствующая бесконечной полосе фронтенда при наличии шума

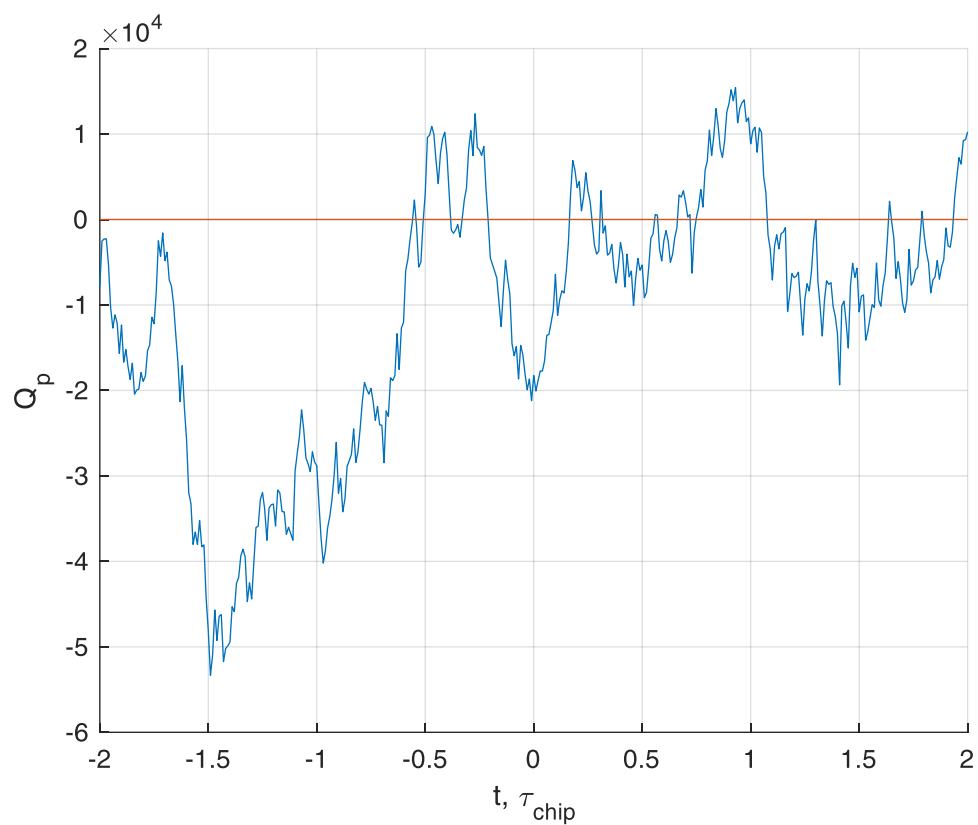


Рисунок 17 – Квадратурная компонента, соответствующая бесконечной полосе фронтенда при наличии шума

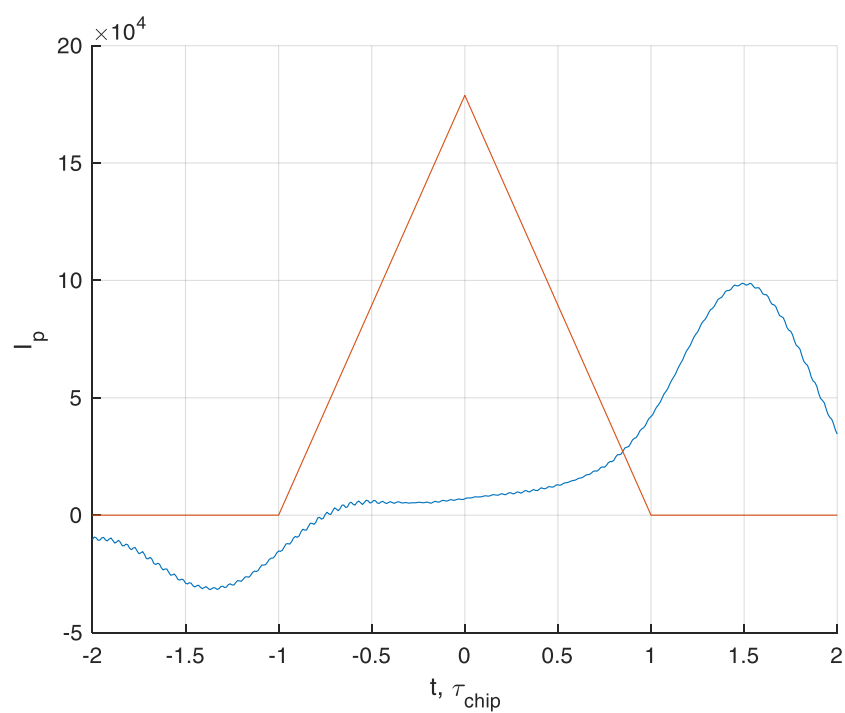


Рисунок 18 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтенда 1 МГц при наличии шума

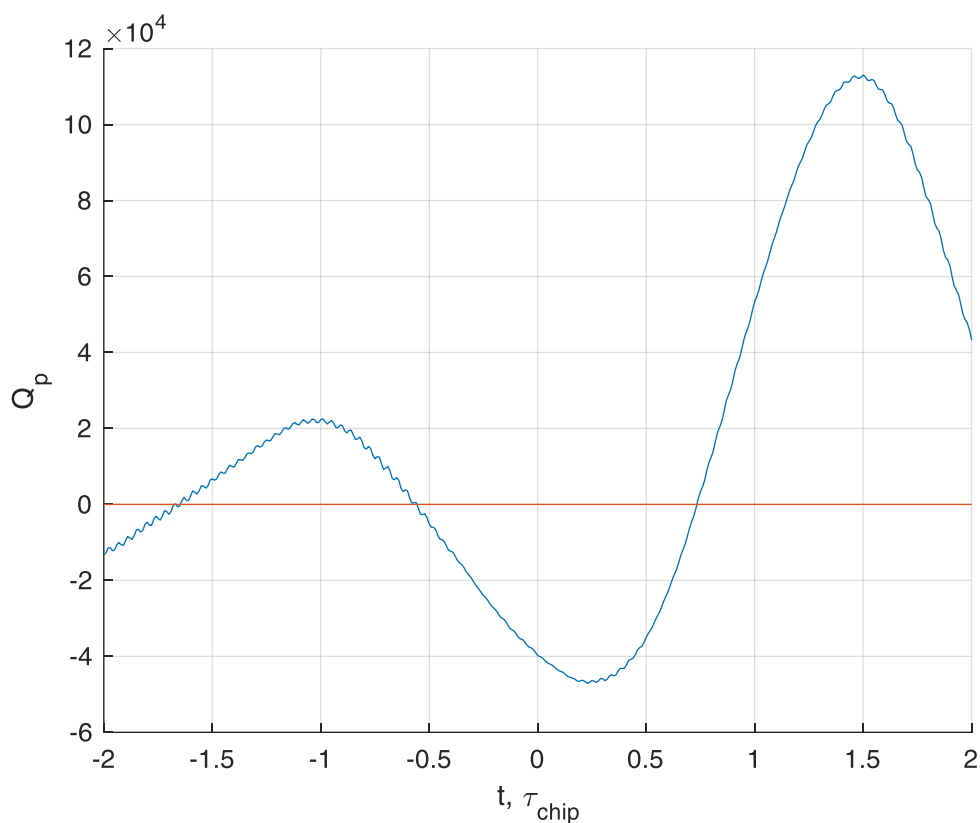


Рисунок 19 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтенда 1 МГц при наличии шума

Комментарий к рис. 15-19:

При увеличении полосы фронтенда увеличивается мощность шумовой составляющей.

## Пункт 5

Исследуем влияние квантования входных отсчетов и опорных сигналов на корреляционные суммы.

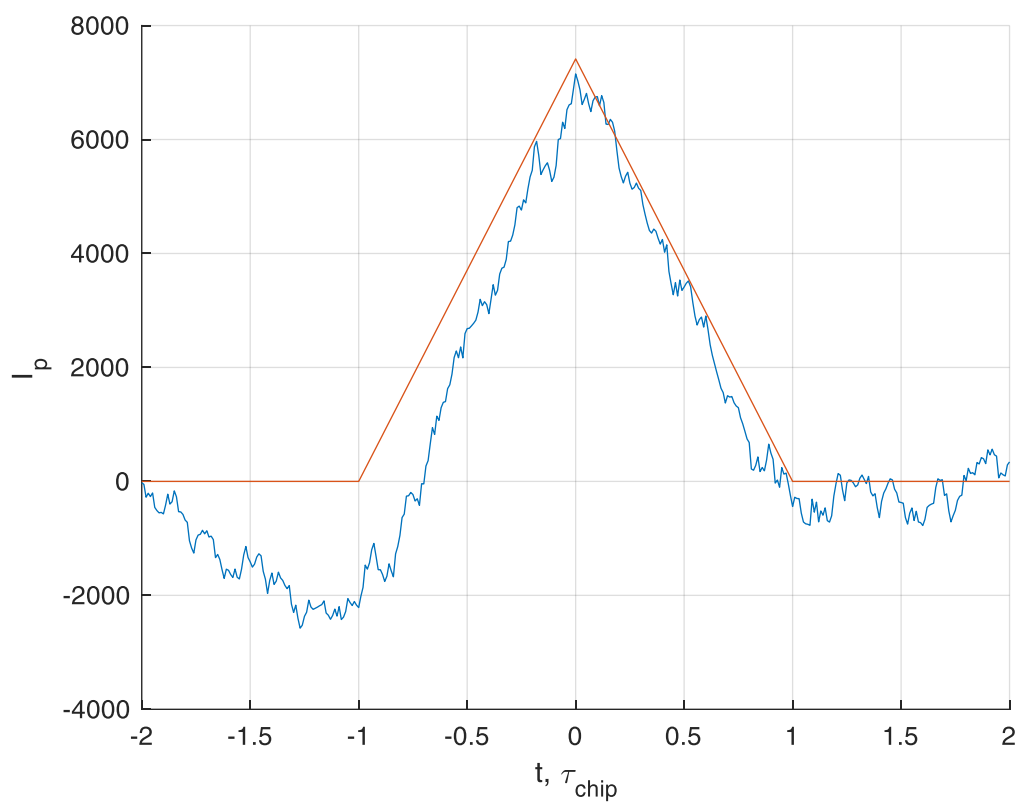


Рисунок 20 – Синфазная компонента, соответствующая бесконечной полосе фронтенда при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала

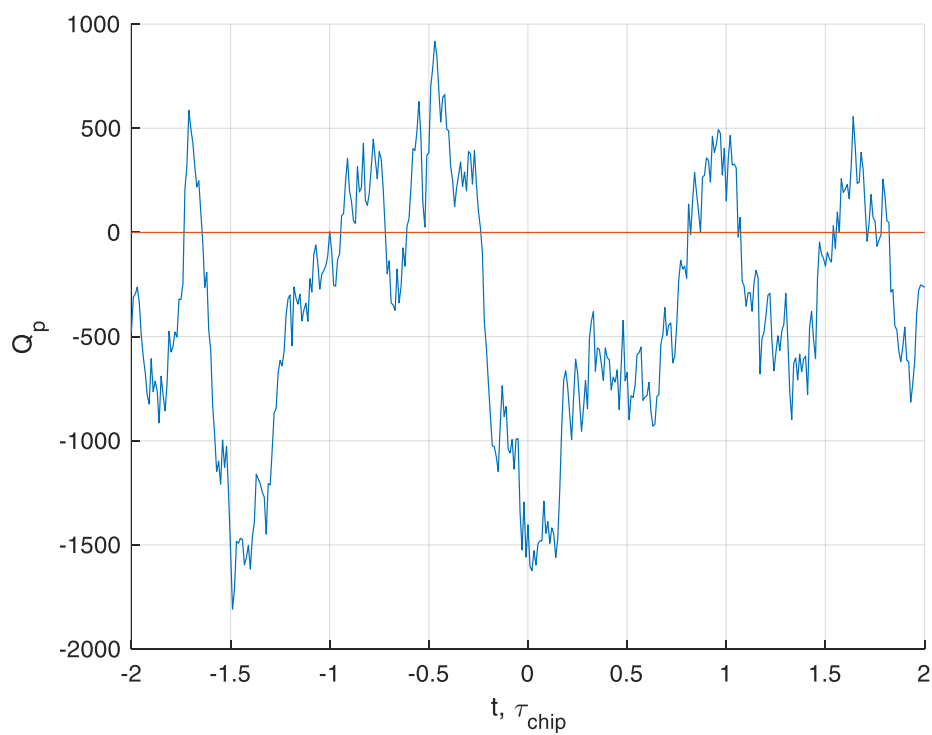


Рисунок 21 – Квадратурная компонента, соответствующая бесконечной полосе фронтенда при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала



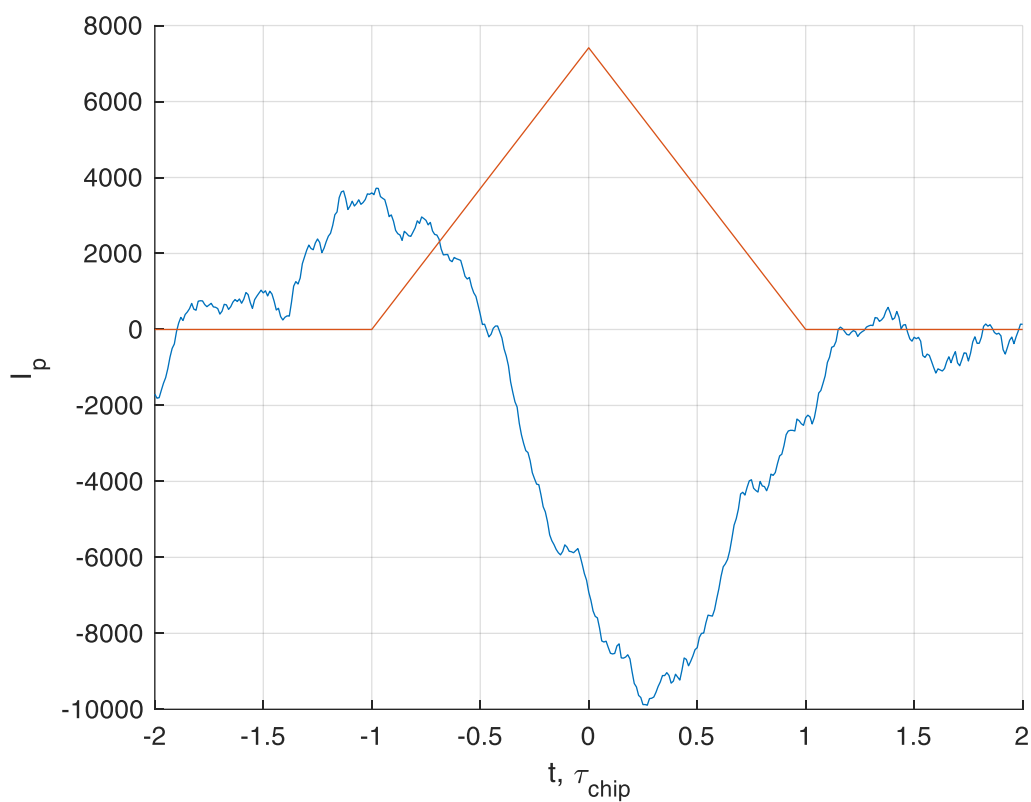


Рисунок 22 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала

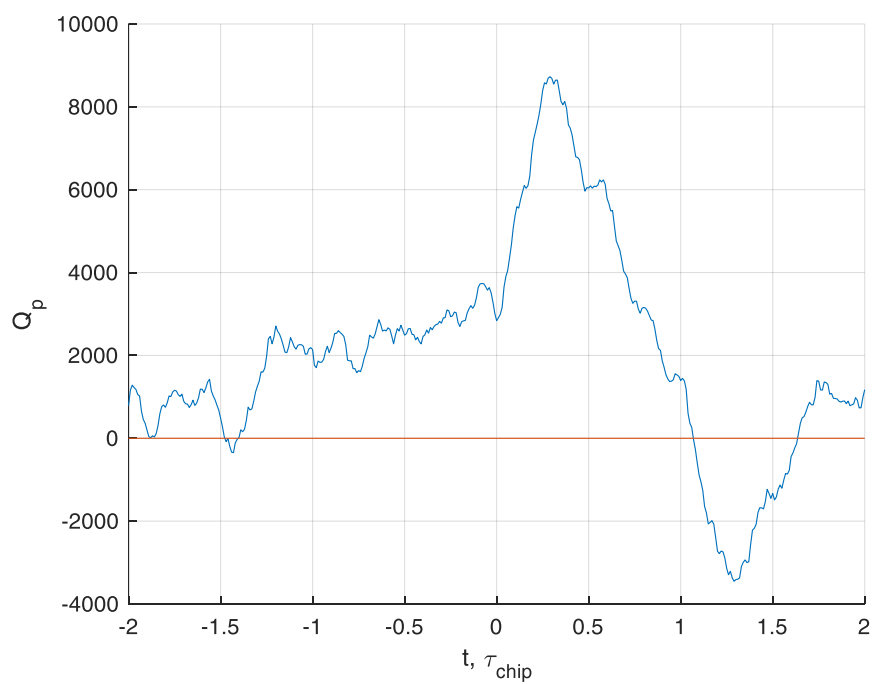


Рисунок 23 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала

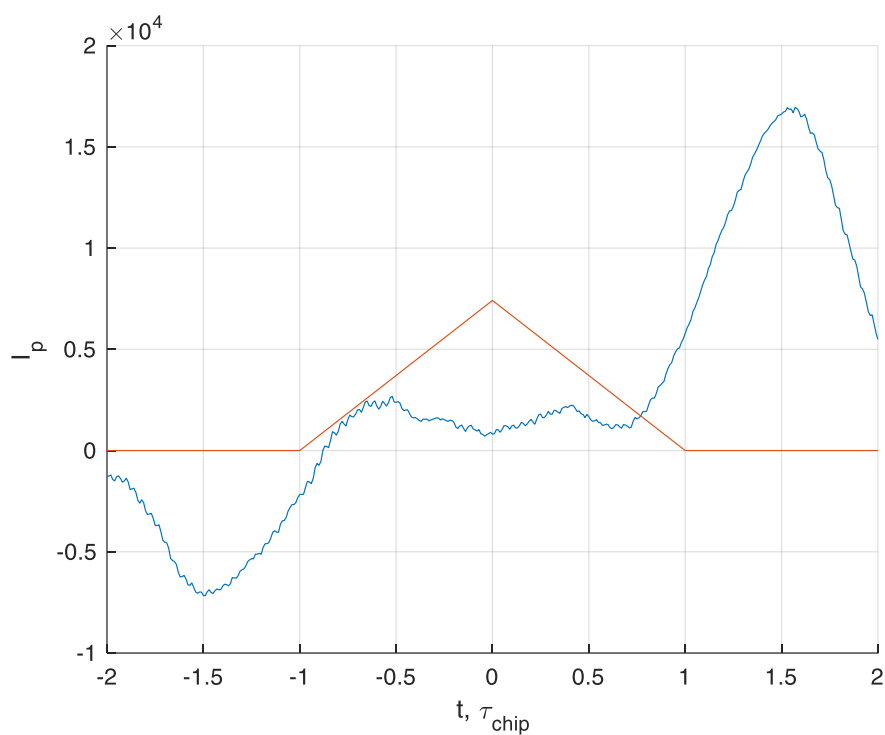


Рисунок 24 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтеда 1 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала

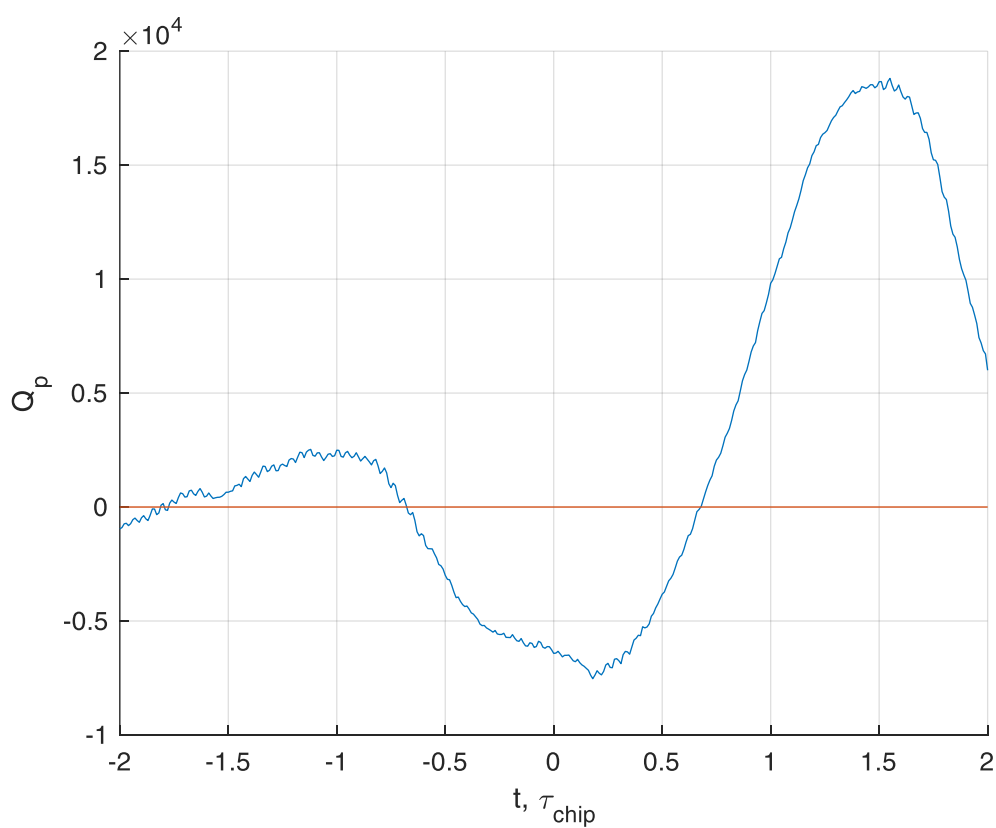


Рисунок 25 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтеда 1 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала

Комментарий к рис. 20-25:

При наличии квантования с увеличением полосы фронта возрастает ошибка квантования, связанная с внутренними шумами квантователя.

### Пункт 6

Включим узкополосную помеху, исследуем её влияние на корреляционные суммы. Определим отношение мощности помехи к мощности сигнала.

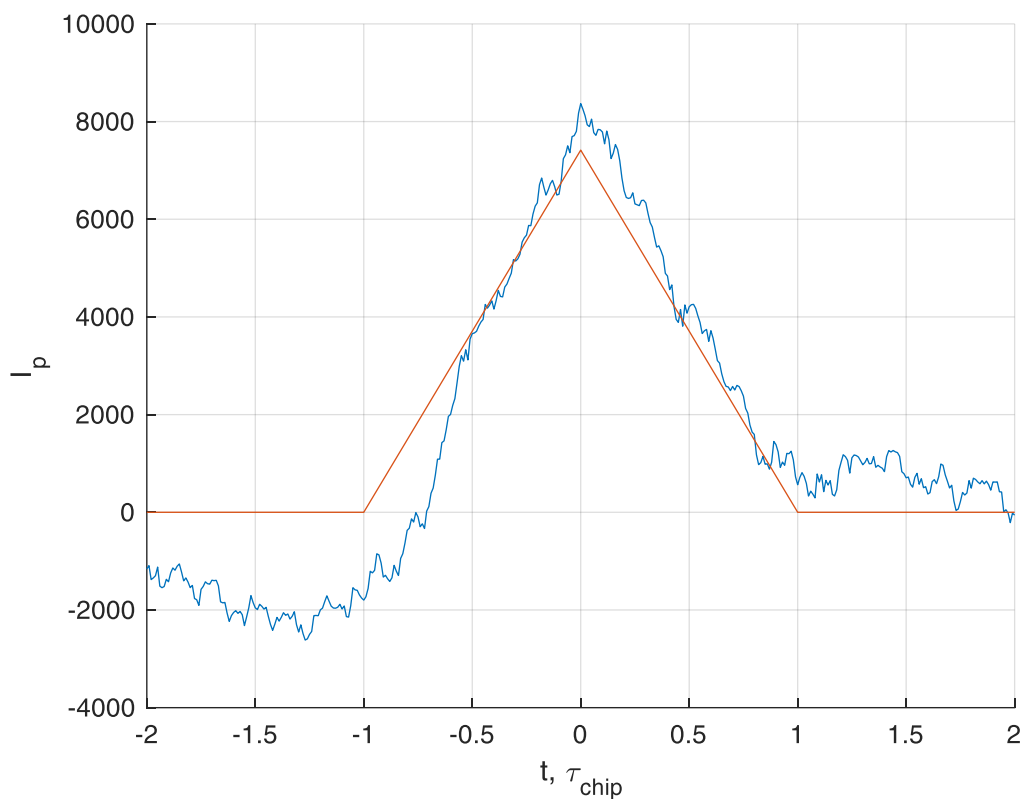


Рисунок 26 – Синфазная компонента, соответствующая бесконечной полосе фронта при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала, и узкополосной помехи

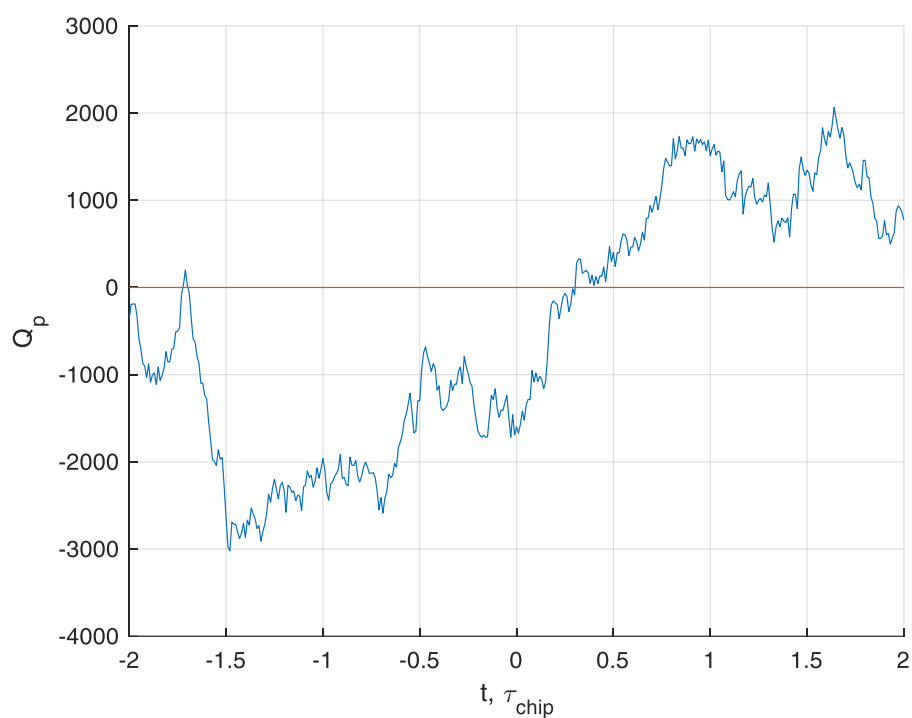


Рисунок 27 – Квадратурная компонента, соответствующая бесконечной полосе фронтенда при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала, и узкополосной помехи

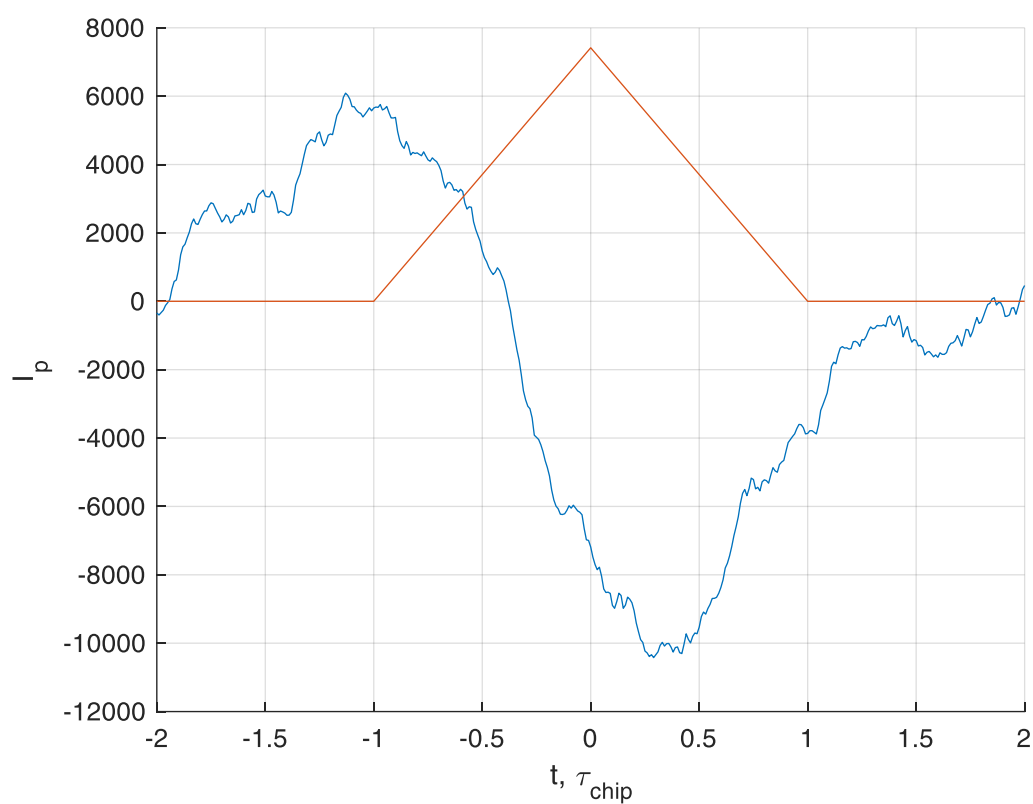


Рисунок 28 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала, и узкополосной помехи

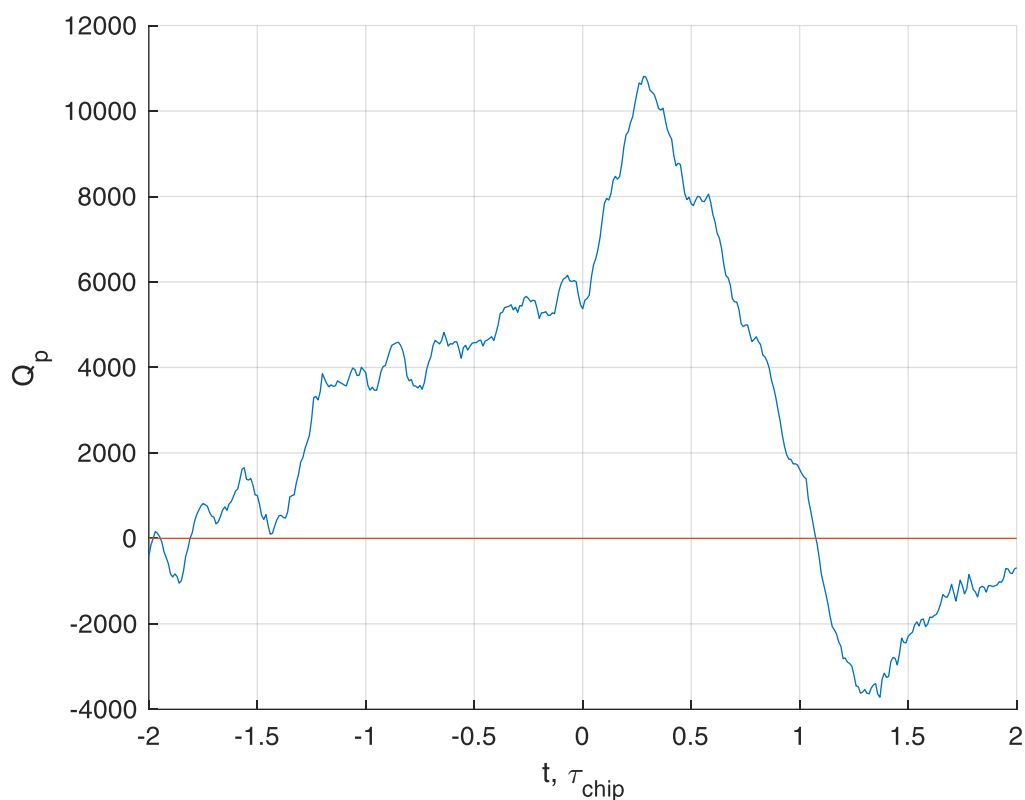


Рисунок 29 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала, и узкополосной помехи

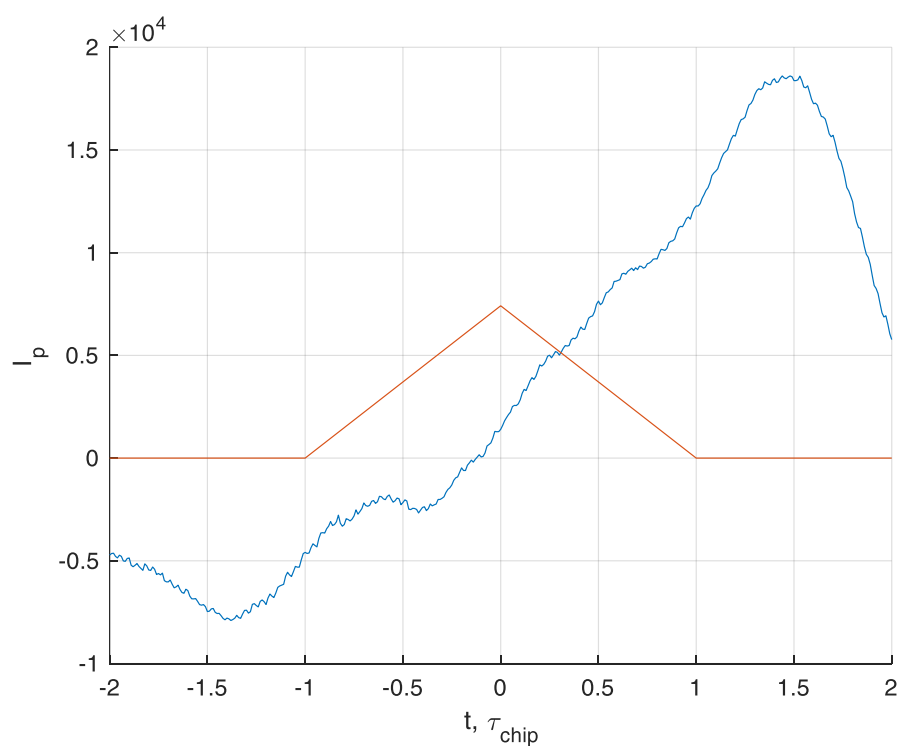


Рисунок 30 – Синфазная компонента, соответствующая полосе фронтенда 1 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала, и узкополосной помехи

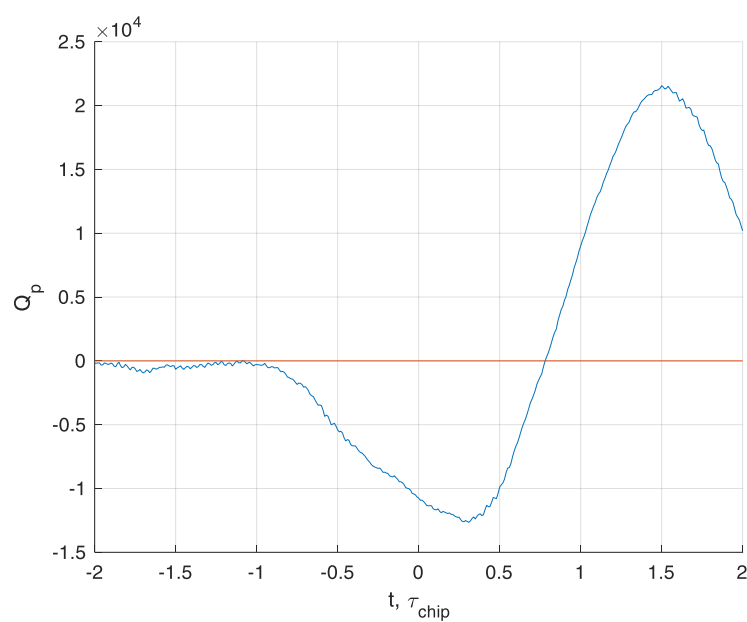


Рисунок 31 – Квадратурная компонента, соответствующая полосе фронтенда 1 МГц при наличии шума и квантования АЦП и опорного сигнала, и узкополосной помехи

Комментарий к рис. 26 – 31:

При наличии узкополосной помехи увеличивается уровень сигнальной компоненты, т.к. помеха имеет вид гармонического колебания.

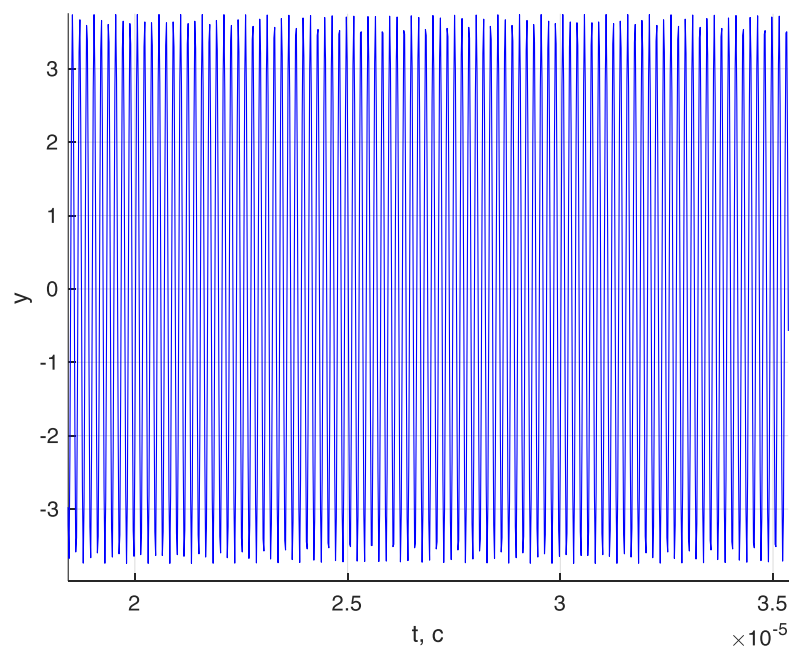


Рисунок 32 – Узкополосная помеха, соответствующая полосе фронтенда 6 МГц в отсутствии опорного сигнала

Комментарий к рис. 31:

Мощность помехи  $U_{\Pi}^2 = (3.7)^2 = 13.69$ ;

Мощность сигнала  $U_c^2 = 0.95^2 = 0.9025$ .

$$\frac{U_{\Pi}^2}{U_c^2} = \frac{13.69}{0.9025} = 15.169 - \text{ОПС}$$

## Пункт 7

Установим нулевую ошибку по частоте. В отсутствии узкополосной помехи при наличии шума приемника проведём исследование процессов в пошаговой модели коррелятора.

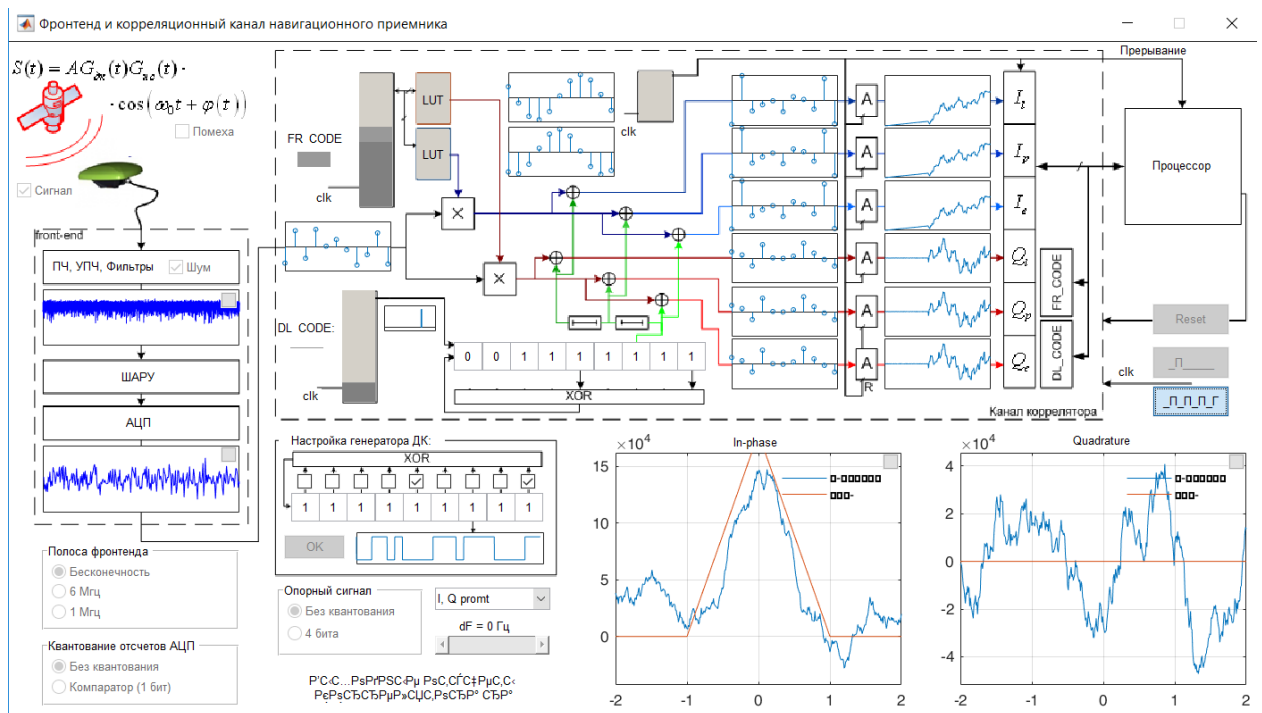


Рисунок 33 – Пошаговая модель коррелятора, соответствующая бесконечной полосе фронтенда

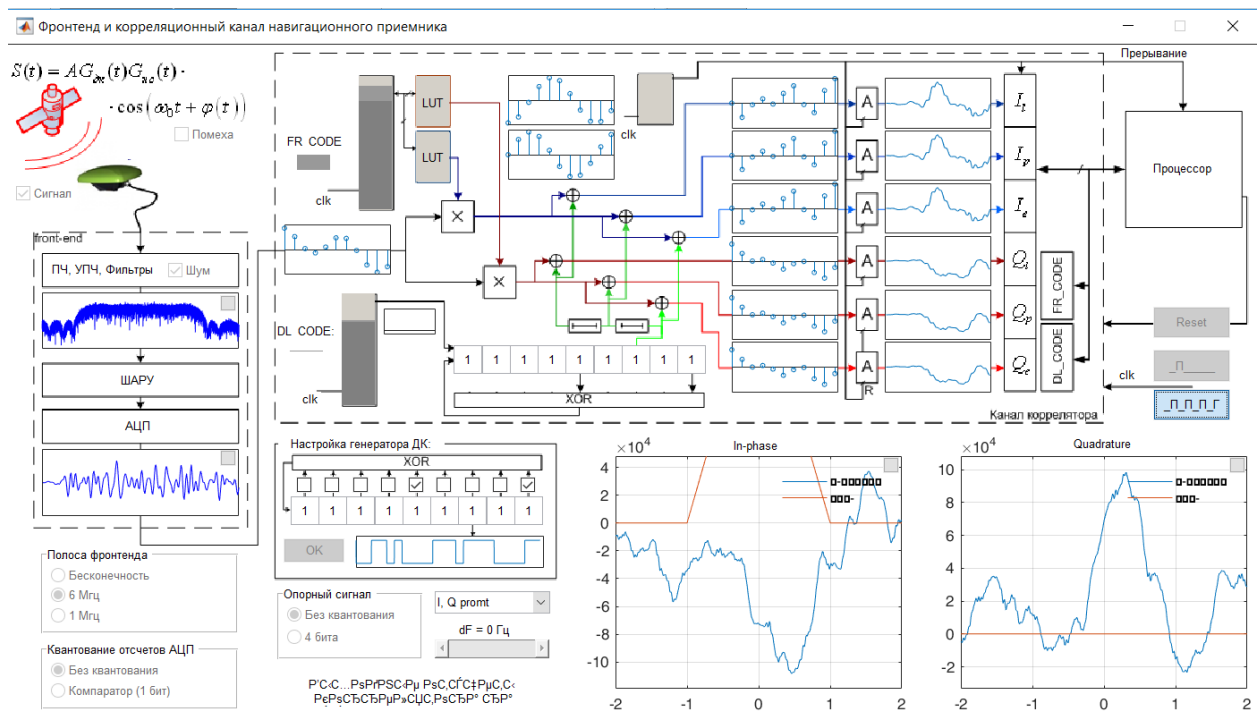


Рисунок 34 – Пошаговая модель коррелятора, соответствующая бесконечной полосе фронтенда полосе фронтенда 6 МГц

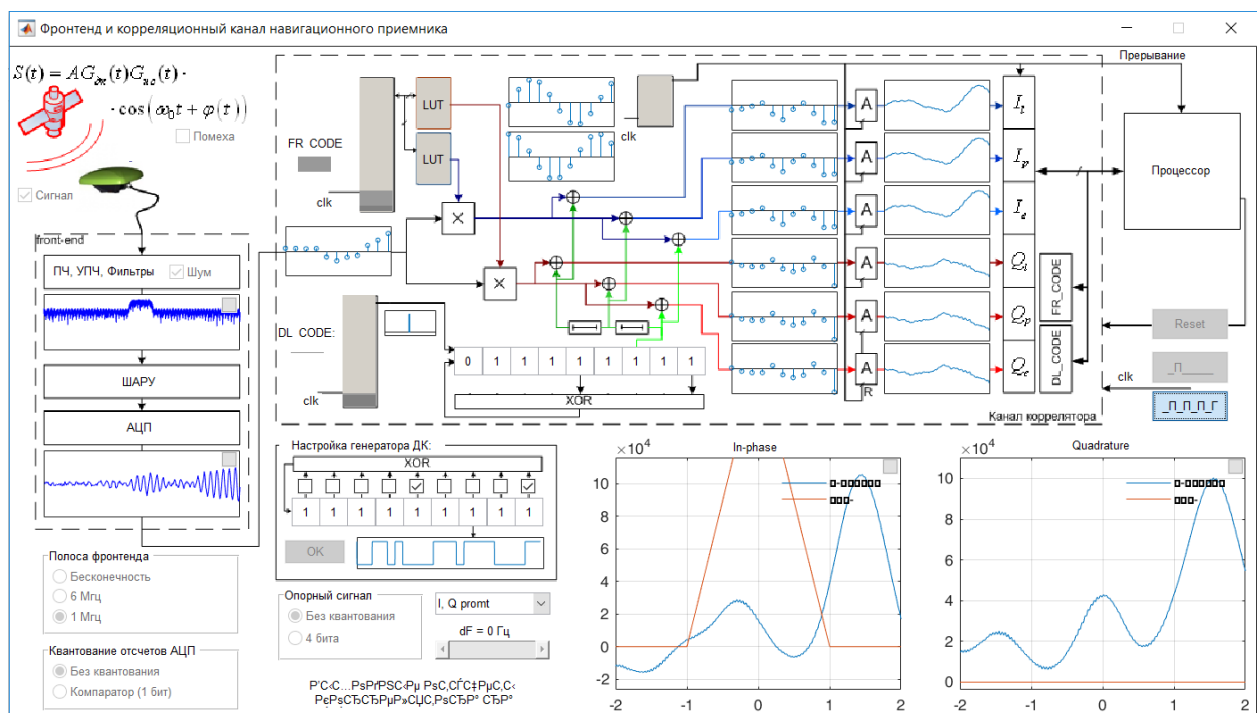


Рисунок 35 – Пошаговая модель коррелятора, соответствующая полосе фронтенда 1 МГц

**Вывод:** в лабораторной работе исследовались схема формирования дальномерного кода сигнала ГЛОНАСС L1 СТ, а также статистические эквиваленты выходных отсчетов коррелятора. Был изучен ИКД и на его



основании сформирована начальная конфигурация регистра сдвига в схеме формирования дальномерного кода. В п.1 мы наблюдали характер корреляционных функций, и он совпадает с теоретическими статистическими эквивалентами выходных отсчётов коррелятора. Также была определена промежуточная частота спектра сигнала и полоса сигнала.

В п.2 определили, что при увеличении полосы фронтенда уменьшается время группового запаздывания.

В п.3 можно отметить, что при добавлении шума синфазная и квадратурная компоненты искажаются, но характер зависимостей остаётся неизменным.

В п.4 отметим, что полоса фронтенда влияет на мощность шумовой составляющей, причём с увеличением полосы фронтенда мощность шумовой составляющей увеличивается.

В п.5 с добавлением квантования АЦП возрастает мощность шумовой компоненты, это обусловлено наличием внутренних шумов квантователя.

В п.6. с добавлением узкополосной помехи в виде гармонического сигнала увеличивается мощность сигнальной компоненты.

В п.7 была рассмотрена пошаговая модель коррелятора при различных значениях полосы фронтенда.