

Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Институт Радиотехники и электроники  
Кафедра радиотехнических систем

ОТЧЕТ  
по лабораторной работе №3  
**"Исследование коррелятора АП СРНС ГЛОНАСС с помощью  
имитационной модели"**  
по курсу "Аппаратура потребителей СРНС"

Выполнил: Росляков А.Н.  
Бригада: № 1  
Проверил: Корогодин И.В.

Москва 2021

# 1 Цель и ход работы

## 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

- 1.1 Изучить разделы ИКД ГЛОНАСС L1 СТ и GPS L1 С/А, посвященные схемам формирования дальномерного кода. Привести схемы блоков формирования дальномерного кода в отчете

Формирование дальномерного кода сигнала GPS L1 С/А:

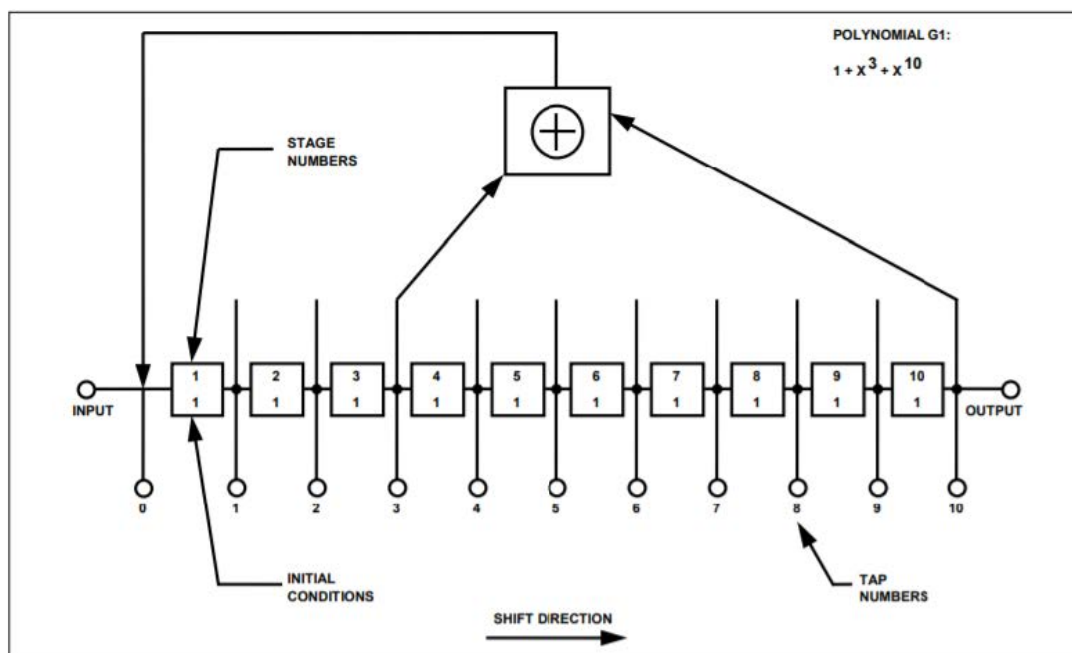


Рисунок 1.1 — Сдвиговый регистр G1

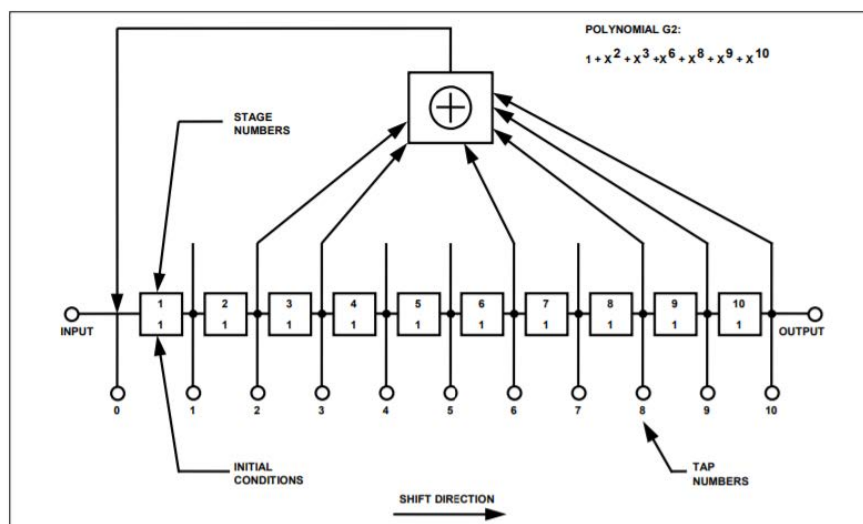


Рисунок 1.2 — Сдвиговый регистр G2

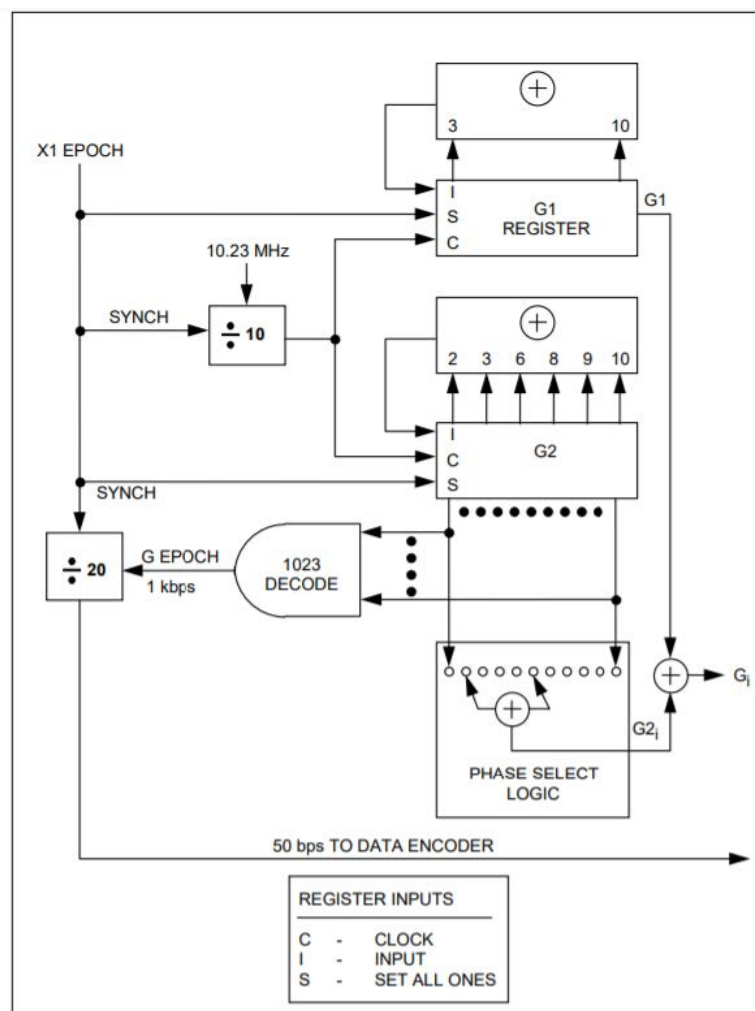


Рисунок 1.3 — Структурная схема формирования дальномерного кода

Формирование дальномерного кода сигнала GPS L1 CT:

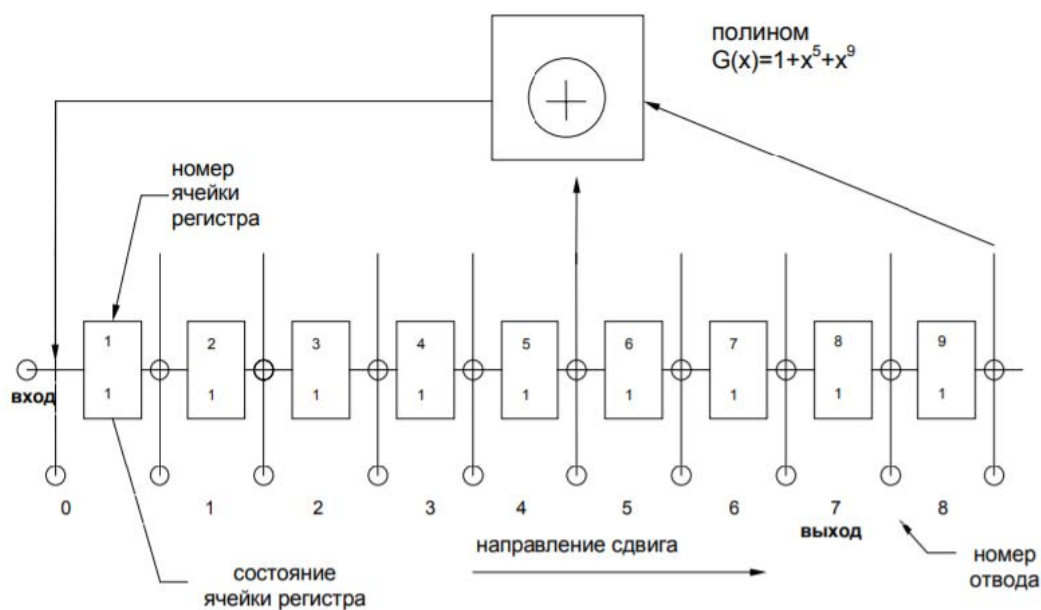


Рисунок 1.4 — Регистр сдвига, формирующий дальномерный код

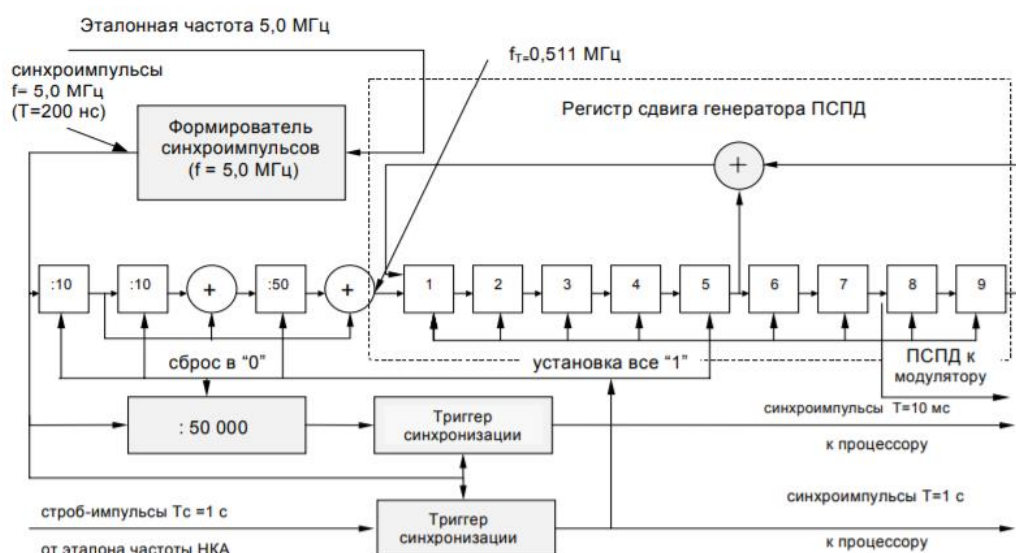


Рисунок 1.5 — схема формирования дальномерного кода ПСПД и синхроимпульсов для навигационного радиосигнала

## 1.2 Привести выражения для статистических эквивалентов выходных отсчетов коррелятора

Так как моделирование производится на ЭВМ, в качестве моделей непрерывных процессов в радиочастотном блоке используются дискретизированные по времени последовательности.

### 1. Модель шкалы времени

$$t_{k,l} = t_{k,0} + l \cdot T_d$$

$$t_{k+1,0} = t_{k,0} + L \cdot T_d = t_{k,0} + T,$$

$T_d$  — интервал дискретизации;

$T$  — интервал накопления в корреляторе

### 2. Модель сигнала на выходе радиочастотного блока

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

$K_f$  — операторный коэффициент передачи цифрового фильтра с заданной полосой,

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

$J_{k,l} = A_j \cdot \cos(\omega_j t_{k,l} + \varphi_{j,k})$  — модель гармонической помехи,

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

### 3. Модель сигнала на выходе АЦП

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

$Qu()$  — нелинейная функция квантования

### 4. Модель корреляционных сумм:

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

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

## Лабораторное задание

- 1.3 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

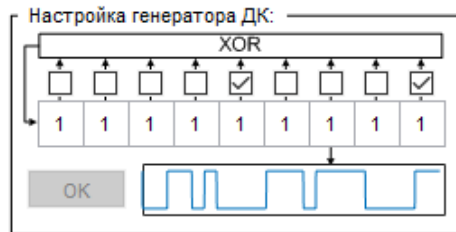


Рисунок 1.6 — Настройка генератора ДК

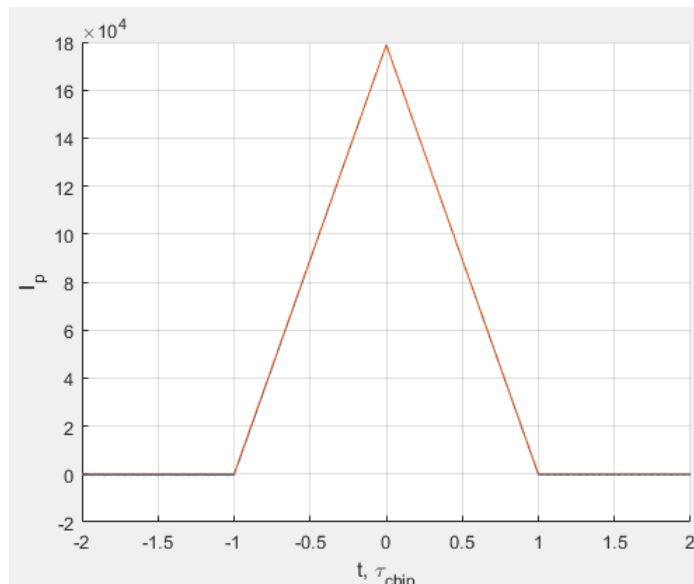


Рисунок 1.7 — Синфазная компонента корреляционной функции

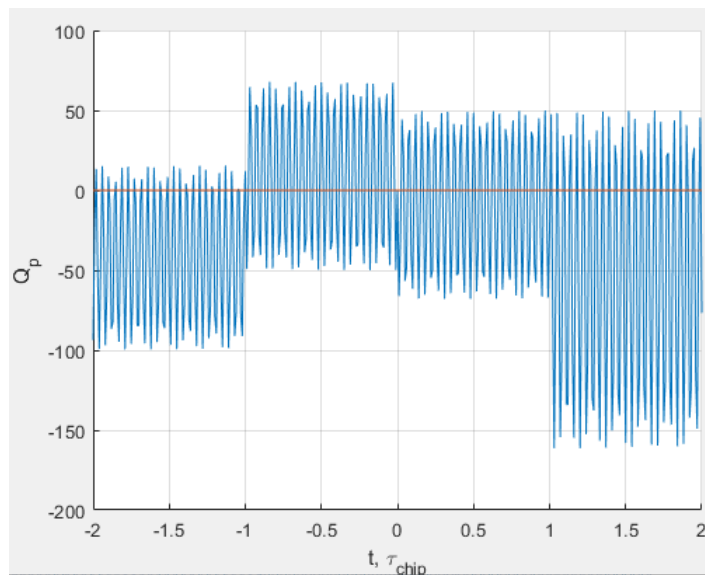


Рисунок 1.8 — Квадратурная компонента корреляционной функции

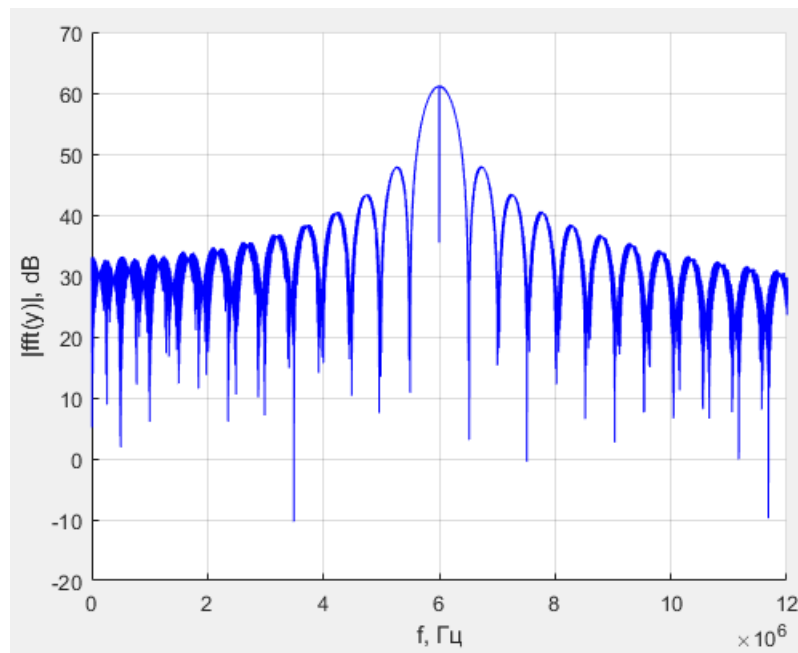


Рисунок 1.9 — Спектр сигнала

Промежуточная частота: 6 МГц;

Полоса сигнала: 1 МГц.

**1.4 Установить полосу фронтенда равной 6 МГц, 1 МГц. Перенести корреляционные функции в отчет. Оценить групповое время запаздывания.**

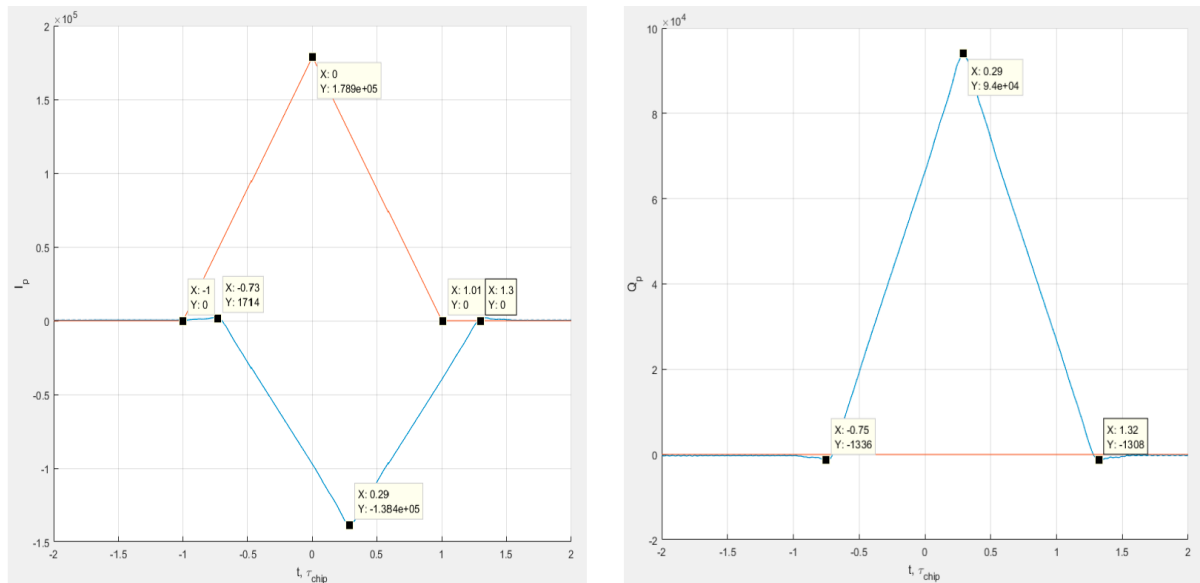


Рисунок 1.10 — Синфазная и квадратурная компонента при полосе фронтенда 6 МГц

Групповое время запаздывания для полосы фронтенда, равной 6 МГц, составляет 0,29 мкс

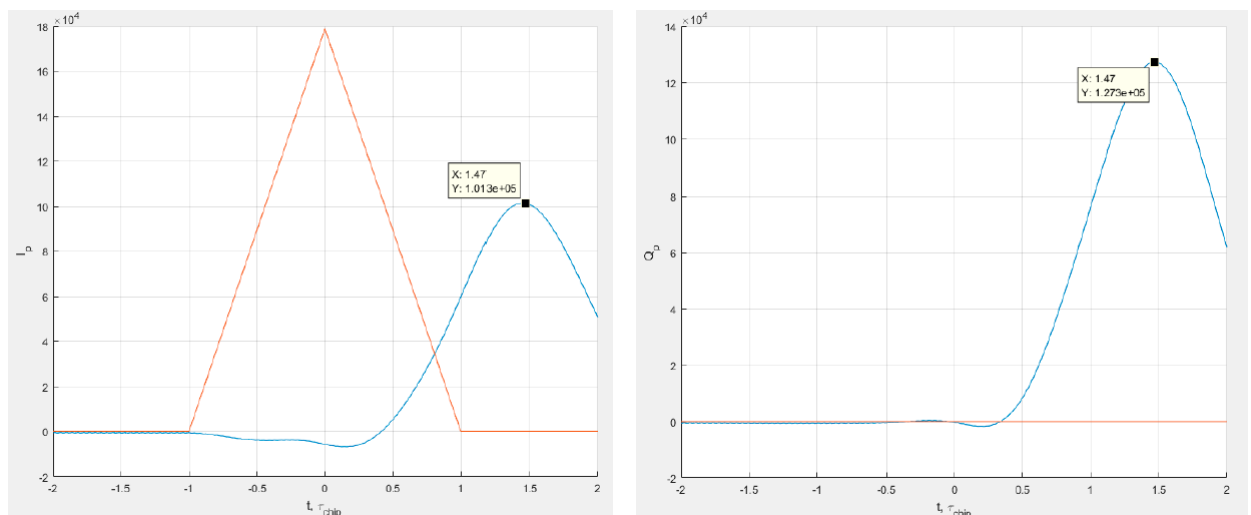


Рисунок 1.11 — Синфазная и квадратурная компонента при полосе фронтенда 1 МГц



Групповое время запаздывания:

— При полосе фронтенда 6 МГц:

$$\tau = 0.29 \cdot \tau_{chip}$$

— При полосе фронтенда 1 МГц:

$$\tau = 1.47 \cdot \tau_{chip}$$

Групповое время запаздывания для полосы фронтенда, равной 1 МГц, составляет 1,47 мкс. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что сужение полосы фронтенда ведет к увеличению группового времени запаздывания, уменьшению уровня боковых лепестков спектра сигнала и, следовательно, увеличению отношения мощности сигнала к односторонней спектральной плотности шума.

**1.5 В качестве значения полосы фронтенда выбрать «6 МГц». Перенести в отчет наглядный отрезок сигнала. Включить шум. Сравнить квадрат СКО шума и мощность сигнала. Определить отношение мощности сигнала к односторонней спектральной плотности шума:  $q_{c/no} = \frac{P_s}{N_0}$ . Перенести в отчет отрезок реализации сигнала в смеси с шумом, корреляционные функции**

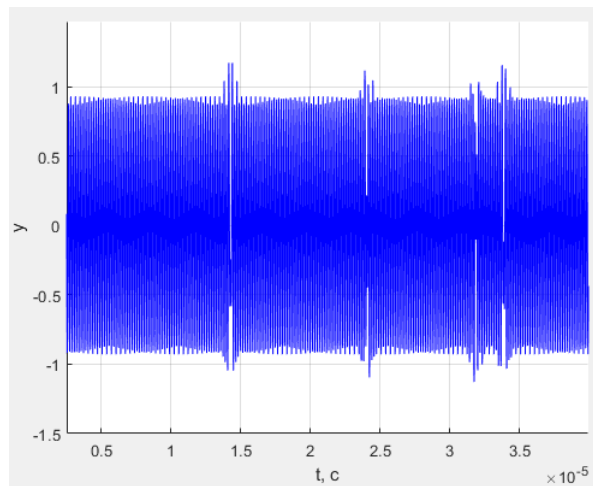


Рисунок 1.12 — Сигнал, соответствующий полосе фронтенда 6 МГц в отсутствии шума

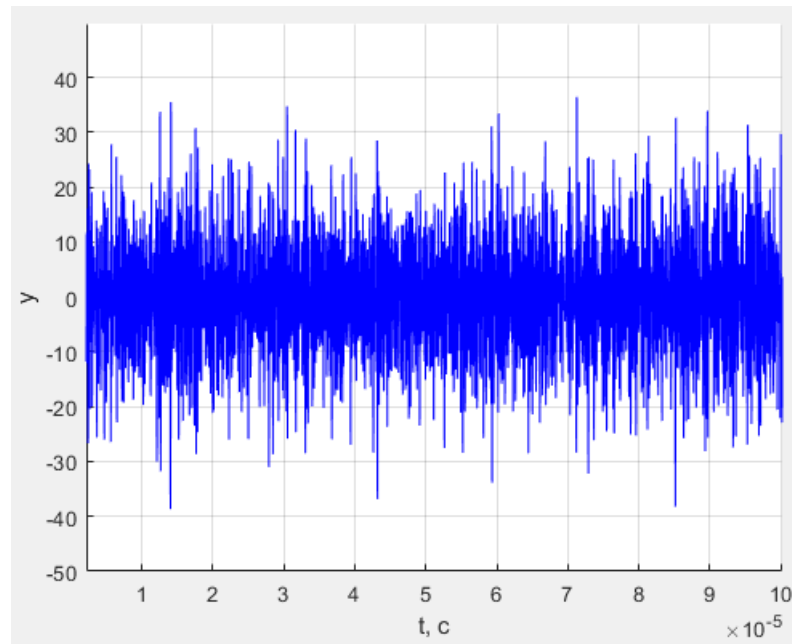


Рисунок 1.13 — Сигнал, соответствующий полосе фронтенда 6 МГц при наличии шума

Мощность сигнала:

$$U_c^2 = (0.95)^2 = 0.9025$$

СКО шума:

$$\sigma_n \approx 10 \text{ В}$$

Отношение сигнал/шум:

$$q_{c/no} = \frac{P_s}{N_0} = \frac{U_c^2 \cdot F_d}{2\sigma_n^2} = \frac{0.95^2 \cdot 1 \cdot 10^6}{10^2} = 2.21 \cdot 10^5 = 9.025 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$q_{c/no, \text{дБГц}} = 10 \lg(q_{c/no}) = 10 \lg(9.025 \cdot 10^3) \approx 39.55 \text{ дБГц}$$

**1.6 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**

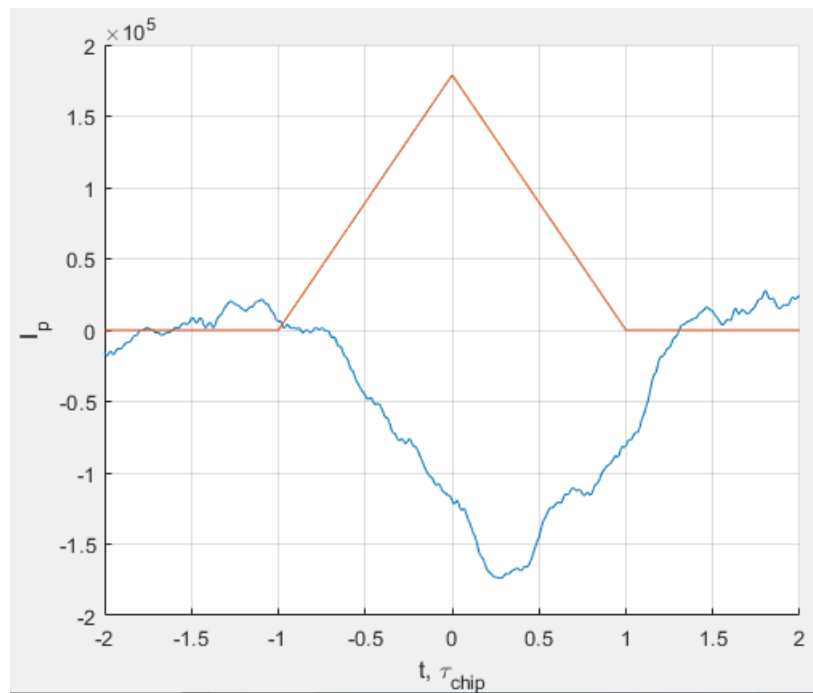


Рисунок 1.14 — Синфазная компонента при полосе фронтенда 6 МГц и при наличии шума

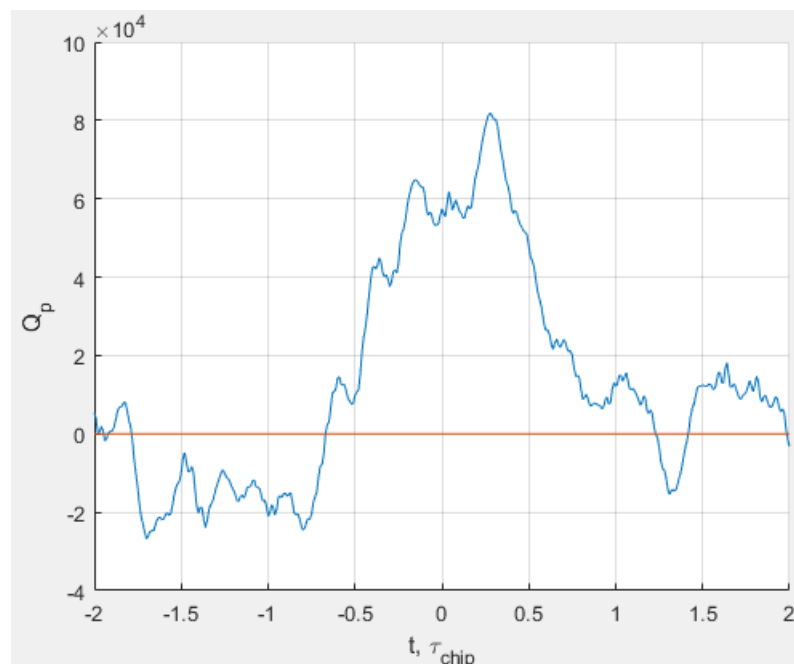


Рисунок 1.15 — Квадратурная компонента при полосе фронтенда 6 МГц и при наличии шума

По графикам видно, что при увеличении полосы фронтенда увеличивается мощность шумовой составляющей.

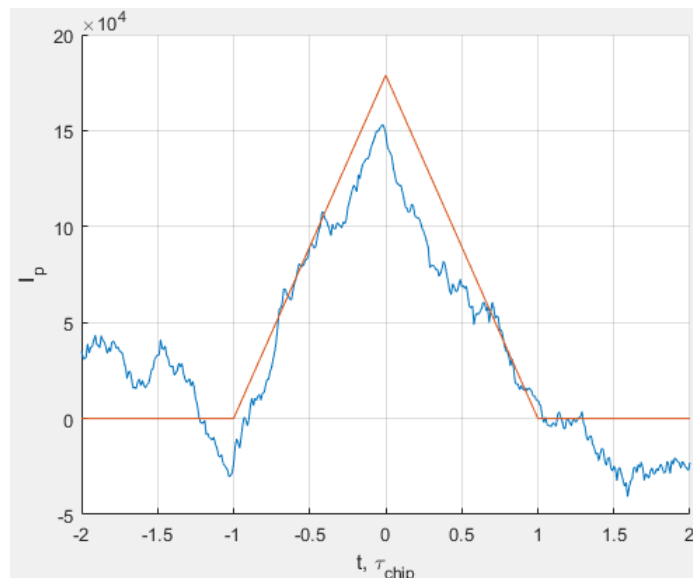


Рисунок 1.16 — Синфазная компонента при бесконечной полосе фронтенда и при наличии шума

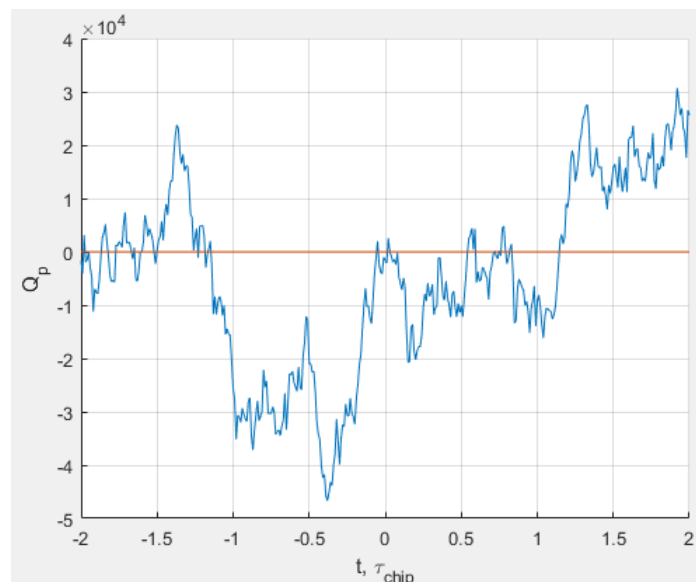


Рисунок 1.17 — Квадратурная компонента при бесконечной полосе фронтенда и при наличии шума

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

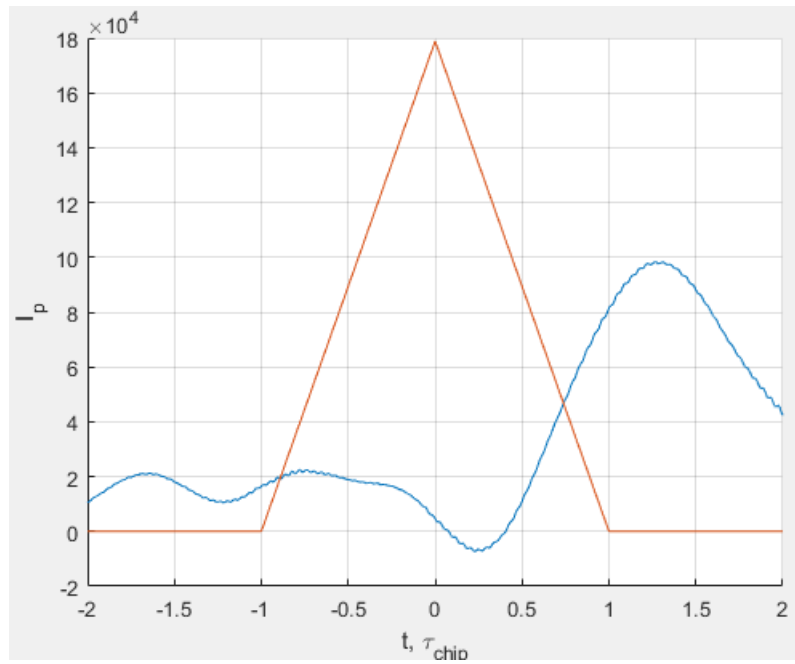


Рисунок 1.18 — Синфазная компонента при полосе фронтеда 1 МГц и при наличии шума

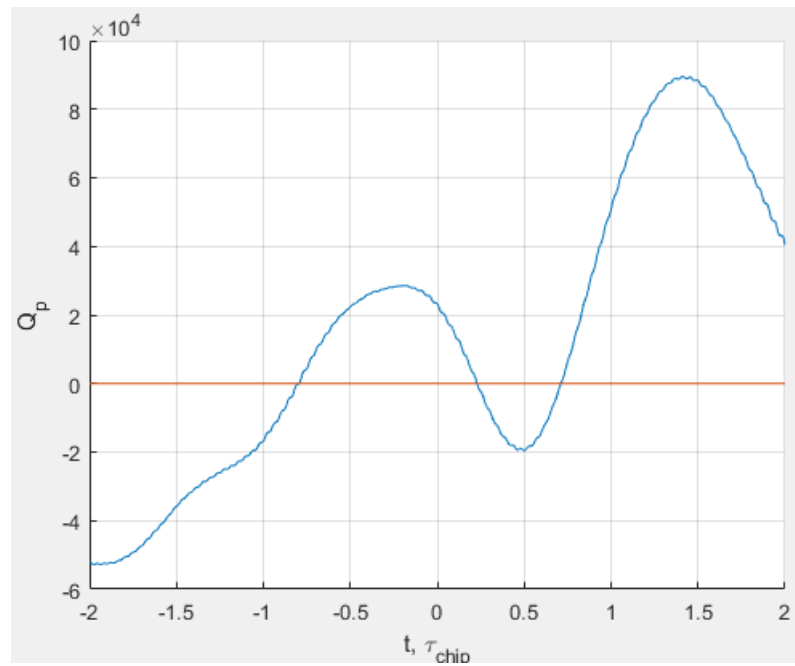


Рисунок 1.19 — Квадратурная компонента при полосе фронтеда 1 МГц и при наличии шума

При увеличении полосы фронтеда и при наличии квантования возрастает ошибка квантования, которая связана с внутренними шумами квантователя.

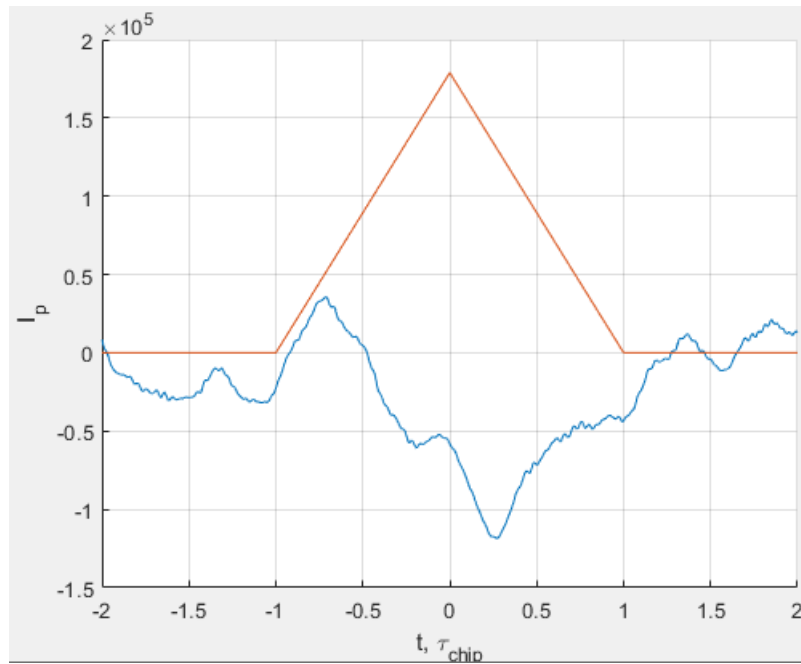


Рисунок 1.20 — Синфазная компонента при полосе фронтенда 6 МГц и при наличии шума

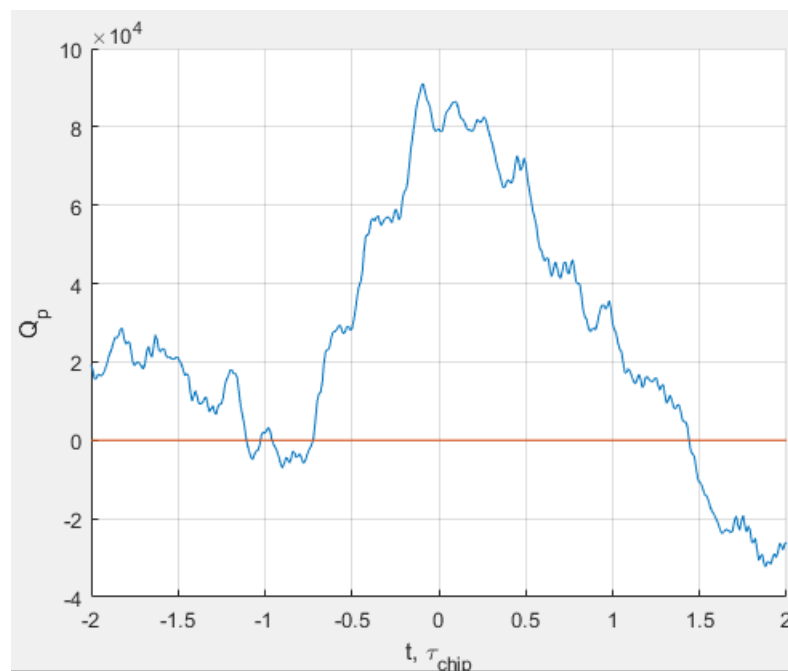


Рисунок 1.21 — Квадратурная компонента при полосе фронтенда 6 МГц и при наличии шума

**1.8 Включить узкополосную помеху, исследовать её влияние на корреляционные суммы. Определить отношение мощности помехи к мощности сигнала**

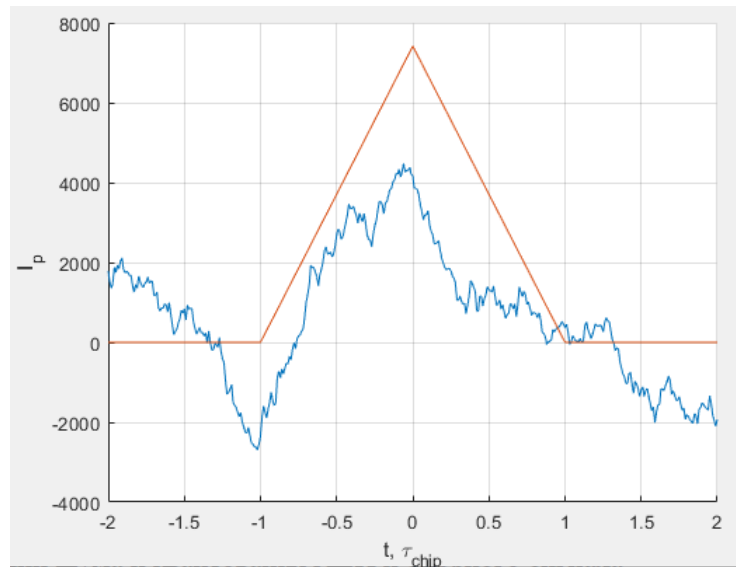


Рисунок 1.22 — Синфазная компонента при бесконечной полосе фронтенда, квантовании АЦП и опорного сигнала, а также при наличии шума

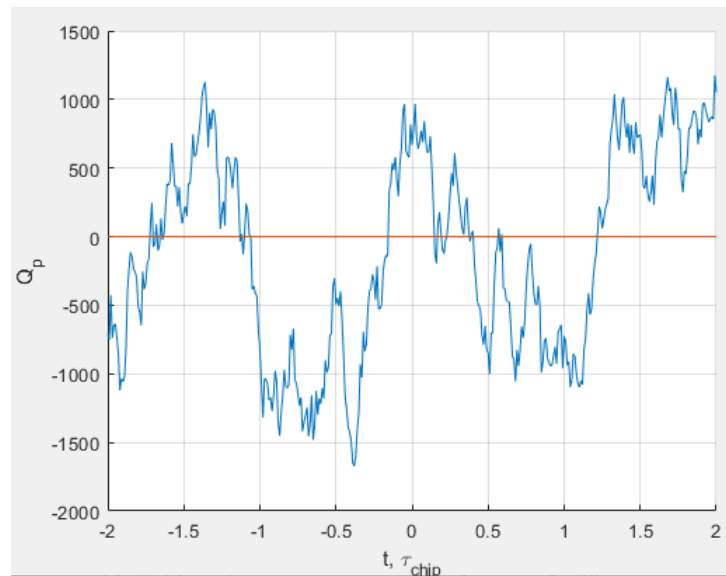


Рисунок 1.23 — Квадратурная компонента при бесконечной полосе фронтенда, квантовании АЦП и опорного сигнала, а также при наличии шума

При наличии узкополосной помехи увеличивается уровень сигнальной компоненты в связи с тем, что узкополосная помеха имеет вид гармонического колебания.

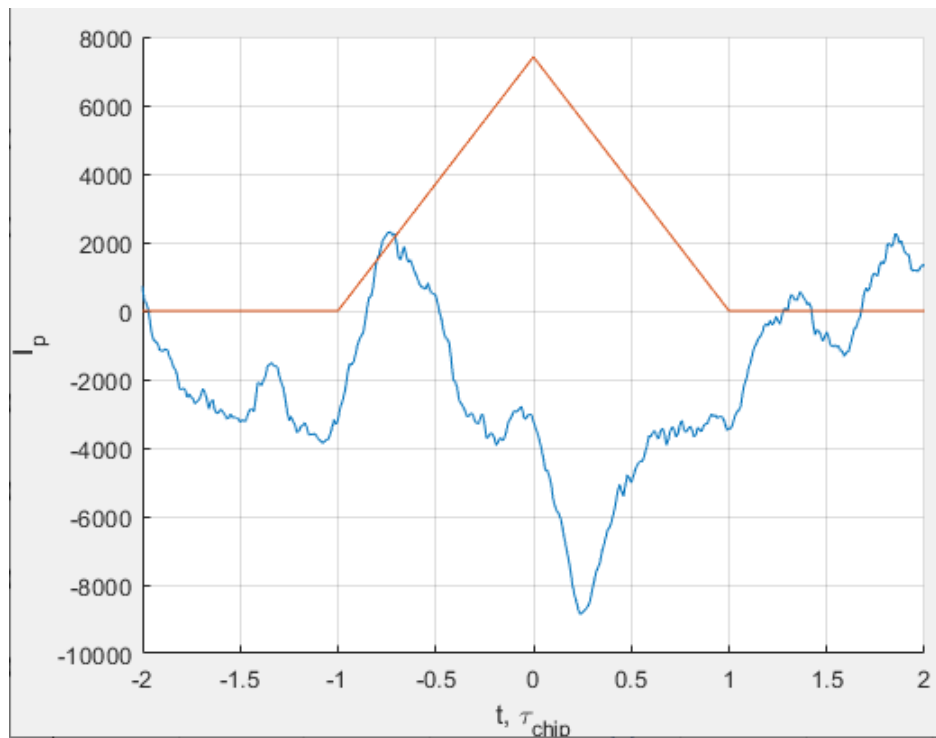


Рисунок 1.24 — Синфазная компонента при полосе фронтенда 6 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, а также при наличии шума

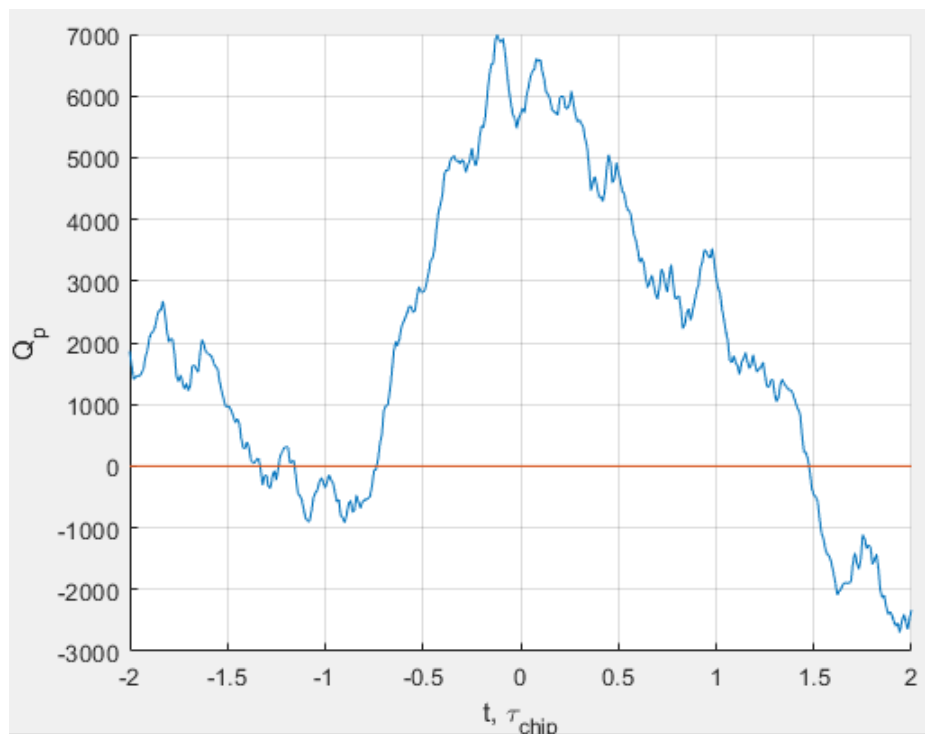


Рисунок 1.25 — Квадратурная компонента при полосе фронтенда 6 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, а также при наличии шума

Мощность сигнала:

$$U_c^2 = (0.95)^2 = 0.9025$$



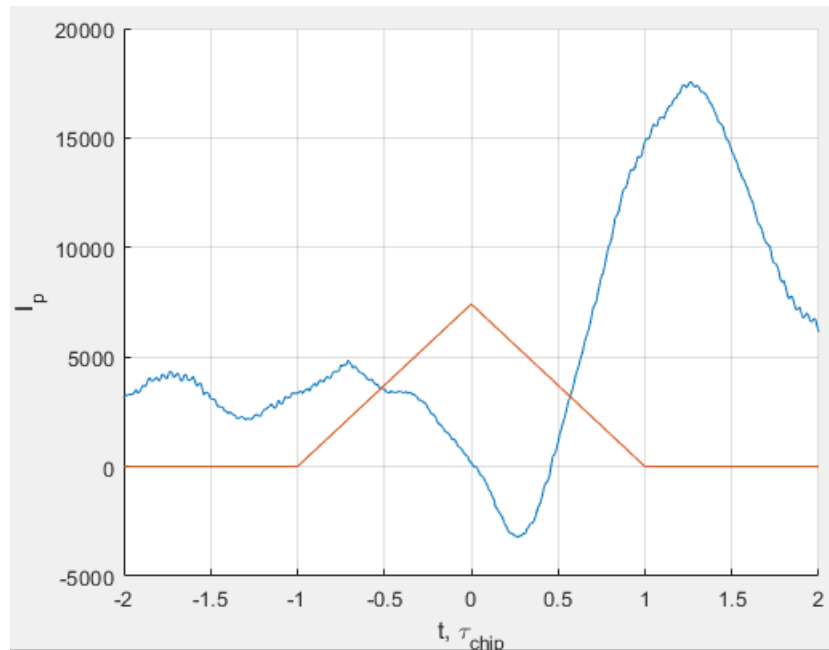


Рисунок 1.26 — Синфазная компонента при полосе фронтенда 1 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, а также при наличии шума

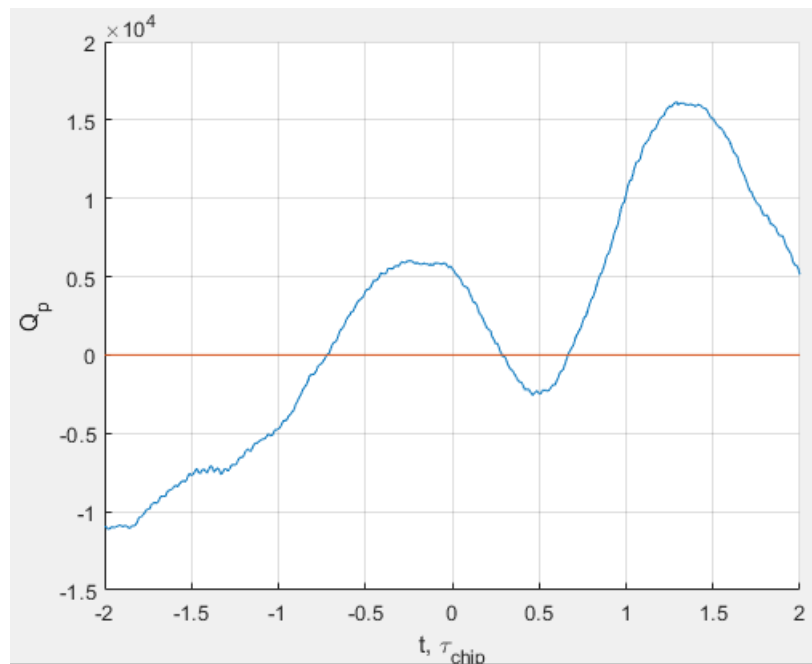


Рисунок 1.27 — Квадратурная компонента при полосе фронтенда 1 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, а также при наличии шума

Мощность помехи:

$$U_{\Pi}^2 = (3.8)^2 = 14.44$$

Отношение мощности помехи к мощности сигнала:

$$\frac{P_{\Pi}}{P_c} = \frac{U_{\Pi}^2}{U_c^2} = \frac{14.44}{0.9025} = 16$$

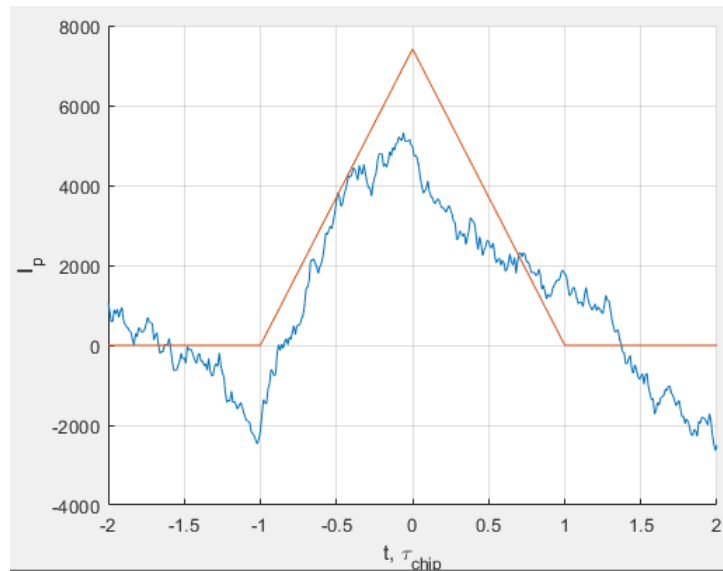


Рисунок 1.28 — Синфазная компонента при бесконечной полосе фронтенда, квантовании АЦП и опорного сигнала, узкополосной помехи, а также при наличии шума

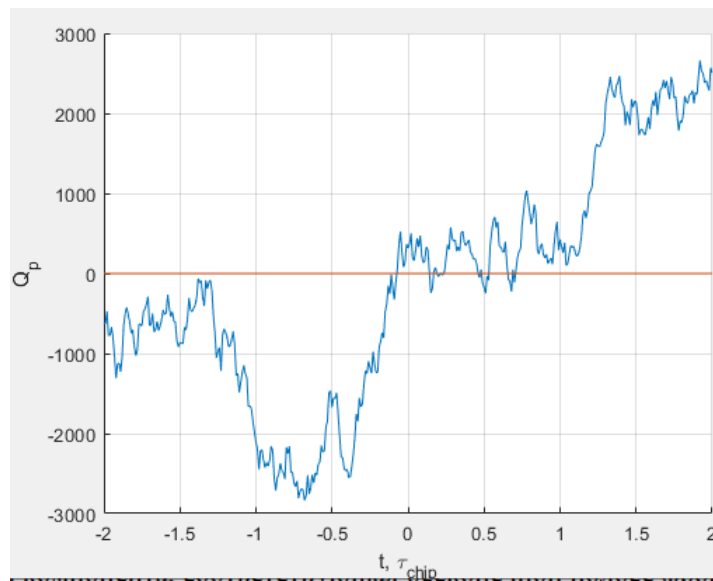


Рисунок 1.29 — Квадратурная компонента при бесконечной полосе фронтенда, квантовании АЦП и опорного сигнала, узкополосной помехи, а также при наличии шума

$$\left(\frac{P_{\Pi}}{P_c}\right)_{\text{дБ}} = 10 \lg \left(\frac{P_{\Pi}}{P_c}\right) = 10 \lg (16) \approx 12 \text{ дБ}$$

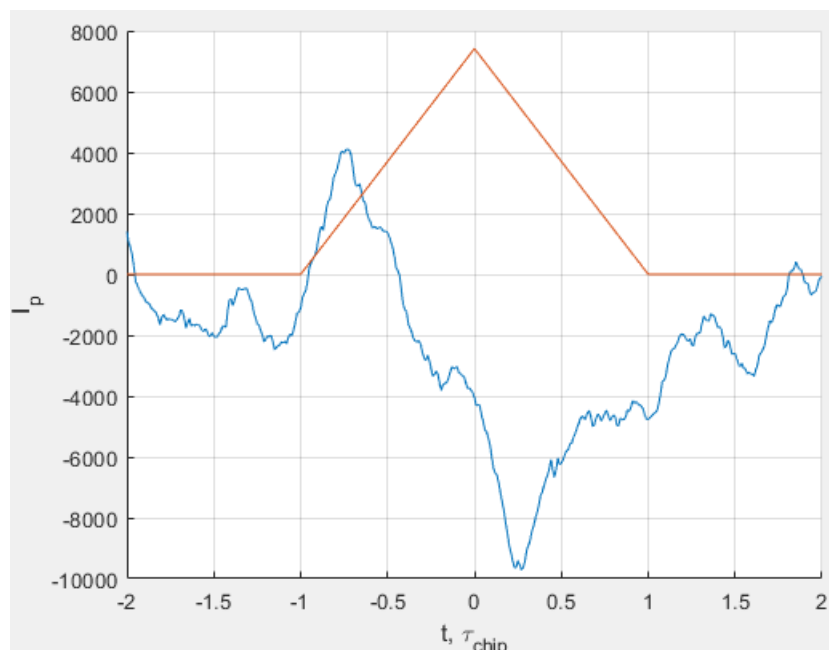


Рисунок 1.30 — Синфазная компонента при полосе фронтенда 6 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, узкополосной помехи, а также при наличии шума

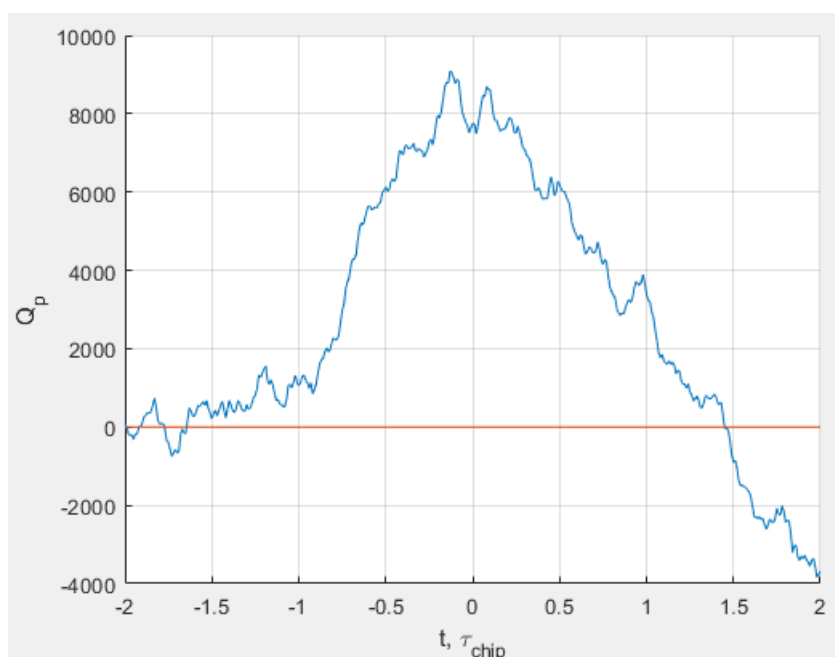


Рисунок 1.31 — Квадратурная компонента при полосе фронтенда 6 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, узкополосной помехи, а также при наличии шума

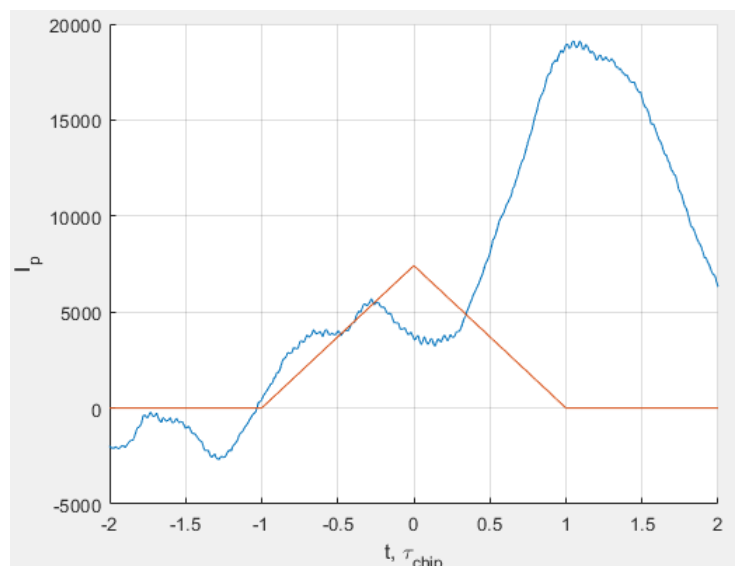


Рисунок 1.32 — Синфазная компонента при полосе фронтенда 1 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, узкополосной помехи, а также при наличии шума

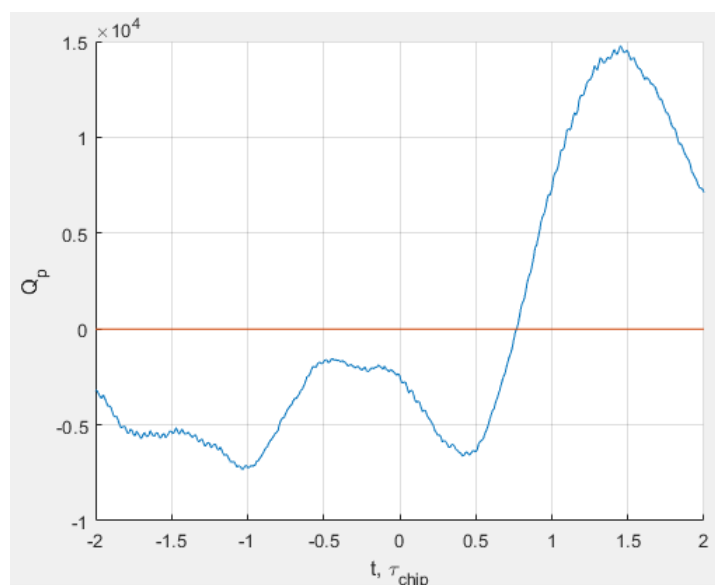


Рисунок 1.33 — Квадратурная компонента при полосе фронтенда 1 МГц, квантовании АЦП и опорного сигнала, узкополосной помехи, а также при наличии шума

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

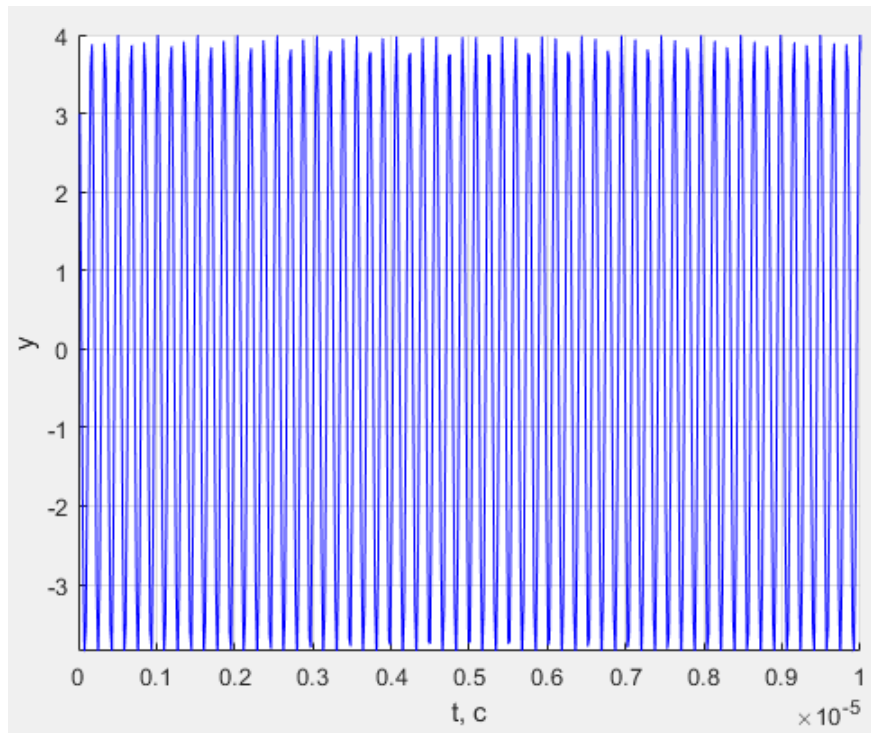


Рисунок 1.34 — Узкополосная помеха

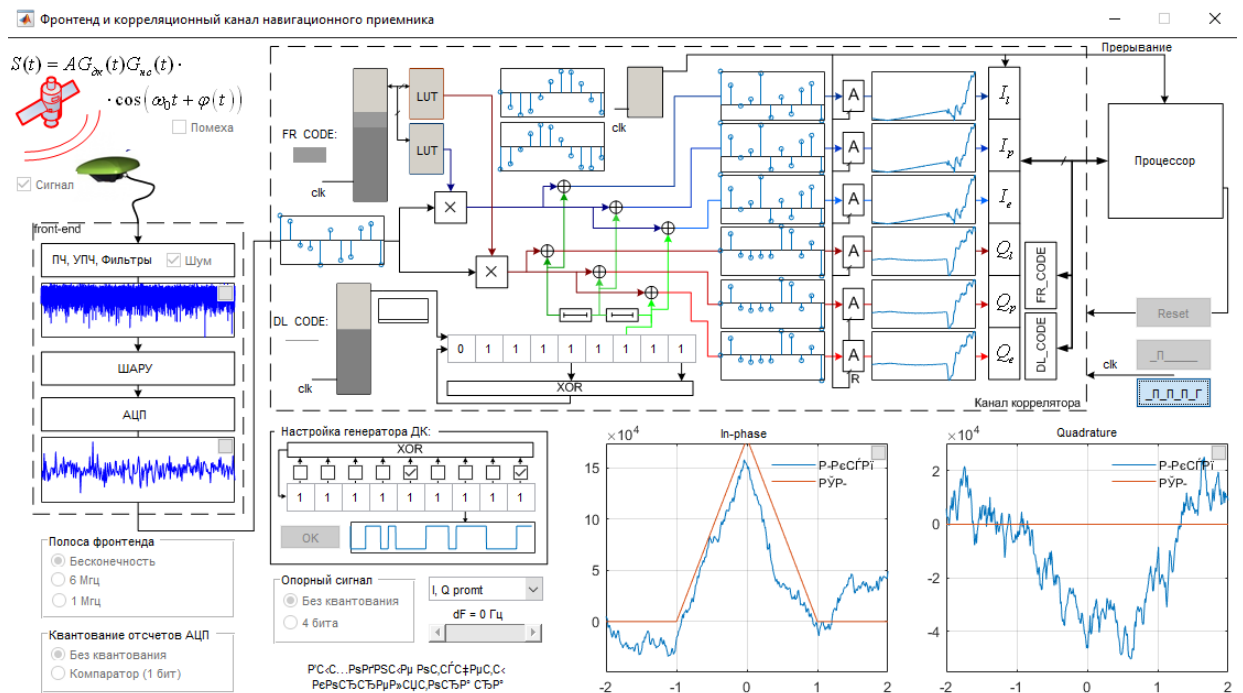


Рисунок 1.35 — Модель коррелятора при бесконечной полосе фронтенда



Исследованы характеристики процессов происходящих в корреляторах АП СРНС.

На основе результатов моделирования были получены значения промежуточной частоты и полосы сигнала, а также значение группового запаздывания при изменении ширины полосы фронтенда. Измерены СКО и мощность сигнала, проведено сравнение полученных величин.

Рассчитано значение отношения мощности сигнала к односторонней спектральной плотности шума.

В процессе исследования модели коррелятора было выяснено, что в качестве входных сигналов используются наблюдения от АЦП, а в самом канале коррелятора происходит множество операций. Одна из них была рассмотрена более детально: расчет корреляционных сумм: на них оказывает влияние ширина полосы фронтенда, также, в зависимости от ширины полосы фронтенда изменяются групповое время запаздывания и шумовая составляющая корреляционной функции.