

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и
информатики

кафедра ТОРС

Задание и методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
«Основы современных технологий беспроводной связи»

для студентов 3 курса направления 210700
дневной формы обучения

«Обработка сигналов в беспроводных каналах»

Составитель: к.т.н. Чингаева А. М.

Самара, 2017 г.

УДК 621.391

Задание и методические указания к лабораторным работам по дисциплине **«Основы современных технологий беспроводной связи»** для студентов 3 курса направления 210700 дневной формы обучения **«Обработка сигналов в беспроводных каналах»** / сост. А. М. Чингаева — Самара: ПГУТИ, 2017 — 18 с.

Методическая разработка содержит задание и методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы современных технологий беспроводной связи».

© А. М. Чингаева 2017
© ПГУТИ 2017

Введение

Комплекс лабораторных работ по дисциплине «Основы современных технологий беспроводной связи» выполняется в среде визуального моделирования Scilab Xcos. Перед выполнением лабораторных работ необходимо ознакомиться с базовыми принципами моделирования в среде Xcos (см. руководство [1]).

Теоретические сведения, необходимые для выполнения работ и ответа на контрольные вопросы, можно найти в лекционном материале и литературе [2]–[6].

Вычисления, необходимые для подготовки отчёта, можно проводить с использованием Scilab — основные принципы математических расчётов в Scilab можно найти в [7].

Комплекс работ включает в себя моделирование многолучевого канала, корректора многолучевого канала на основе алгоритма сведения к нулю и когерентного демодулятора. В качестве вида модуляции используется ФМ2. Моделирование осуществляется для квадратурных компонент сигнала, канала и шума.

Последующие работы строятся на основе предыдущих: в схемах более поздних работ используются схемы, собранные ранее. Последняя работа включает в себя схемы всех предыдущих работ и представляет собой простейшую модель физического уровня системы беспроводной связи.

1 Модель многолучевого канала

В работе исследуется модель двух- и трёхлучевого канала с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ), собранная на основе линейного цифрового фильтра. В качестве входного сигнала используется случайный синхронный телеграфный сигнал (СТС) с единичной амплитудой и тактовым интервалом $T_0 = 1$ с. Интервал дискретизации $\Delta t = 0.1T_0$.

1.1 Задание на лабораторную работу

1. Собрать схему модели двухлучевого канала.
2. Для трёх различных соотношений лучей ($|\gamma_0| > |\gamma_1|$, $|\gamma_0| < |\gamma_1|$ и $|\gamma_0| = |\gamma_1|$) отобразить графики первичного сигнала, сигнала на выходе канала и зашумлённого сигнала для СКО шума $\sigma = 0.25$. Задержка по первому лучу τ_0 в канале во всех случаях выбирается равной нулю, а по второму τ_1 — величине тактового интервала.
3. Добавить к модели канала третий луч. Отобразить графики сигналов для случая $\gamma_0 = 1$, $\gamma_1 = 0.75$, $\gamma_2 = 0.5$. Задержка по первому лучу в канале выбирается равной нулю, по второму — величине тактового интервала, по третьему — величине удвоенного тактового интервала.

1.2 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Примерный список необходимых переменных:

- $T_0=1$ — тактовый интервал (1 с);
- $dt=0.1*T_0$ — интервал дискретизации сигнала (0.1 с);
- $T=T_0*30$ — длительность сигнала (конечное время моделирования);
- $\gamma_0=1$ — коэффициент передачи по первому лучу (меняется в процессе выполнения работы);
- $\gamma_1=0.75$ — коэффициент передачи по второму лучу (меняется в процессе выполнения работы);
- $\gamma_2=0.5$ — коэффициент передачи по третьему лучу (меняется в процессе выполнения работы);
- $\sigma=0.25$ — СКО шума.

Пределы по осям ординат (y) осциллографа установите таким образом, чтобы получить наилучшее отображение сигнала. Интервалы обновления целесообразно установить равными конечному времени моделирования (длительности сигнала).

Примерный вид блок-схемы для моделирования многолучевого канала показан на рис. 1.

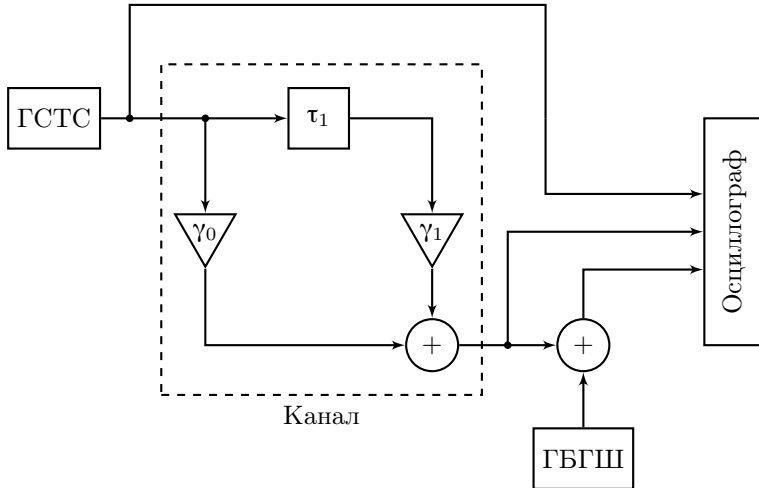


Рис. 1 Блок-схема модели двухлучевого канала

На схеме:

- «ГСТС» — генератор СТС (собирается самостоятельно),
- τ_1 — элемент задержки на время τ_1 (блок «TIME_DELAY»),
- γ_0 и γ_1 — весовые блоки («GAINBLK_f»),
- + — сумматор (блок «BIGSOM_f»),
- «ГБГШ» — генератор белого гауссовского шума (собирается самостоятельно),
- Осциллограф — блок «CMSCOPE».

1.3 Содержание отчёта

1. Собранная схема моделирования.

2. Графики первичного сигнала, сигнала на выходе канала и зашумлённого сигнала для СКО шума $\sigma = 0.25$ для всех рассмотренных случаев.
3. Выводы.

1.4 Контрольные вопросы

1. Что является причиной многолучевого распространения сигнала в беспроводных каналах?
2. Что такое МСИ и как она влияет на передачу сигналов?
3. Какая величина называется памятью канала?
4. Изобразите модель канала в виде цифрового фильтра и поясните принцип её работы.
5. Поясните принцип реализации модели многолучевого канала средствами X_{\cos} .
6. Поясните принцип получения белого гауссовского шума средствами X_{\cos} .

2 Модель корректора двухлучевого канала

В работе исследуется модель линейного корректора двухлучевого канала с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ). В качестве входного сигнала используется случайный синхронный телеграфный сигнал (СТС) с единичной амплитудой и тактовым интервалом $T_0 = 1$ с. Интервал дискретизации $\Delta t = 0.1T_0$. Корректор строится на основе алгоритма сведения к нулю.

2.1 Задание на лабораторную работу

1. Собрать схему системы передачи, включающую в себя источник сигнала (ГСТС), двухлучевой канал, источник аддитивного шума и корректор, использующий алгоритм сведения к нулю.
2. Отобразить графики первичного сигнала, сигнала на выходе канала, зашумлённого сигнала и сигнала с выхода корректора для двух различных соотношений лучей ($|\gamma_0| > |\gamma_1|$ и $|\gamma_0| = |\gamma_1|$) и двух значений СКО шума ($\sigma = 0$ и $\sigma = 0.25$). Задержка по первому лучу τ_0 в канале в обоих случаях выбирается равной нулю, а по второму τ_1 — величине тактового интервала.
3. Модифицировать схему для случая $|\gamma_0| < |\gamma_1|$. Отобразить графики, аналогично предыдущему пункту.

2.2 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Примерный список необходимых переменных:

- $T_0=1$ — тактовый интервал (1 с);
- $dt=0.1*T_0$ — интервал дискретизации сигнала (0.1 с);
- $T=T_0*30$ — длительность сигнала (конечное время моделирования);
- $\gamma_0=1$ — коэффициент передачи по первому лучу (меняется в процессе выполнения работы);
- $\gamma_1=0.75$ — коэффициент передачи по второму лучу (меняется в процессе выполнения работы);
- $\sigma=0.25$ — СКО шума.
- $k=-\gamma_1/\gamma_0$ — коэффициент рекурсивной ветви корректора.

Пределы по осям ординат (y) осциллографа установите таким образом, чтобы получить наилучшее отображение сигнала. Интервалы обновления целесообразно установить равными конечному времени моделирования (длительности сигнала).

Примерный вид блок-схемы для моделирования корректора двухлучевого канала показан на рис. 2.

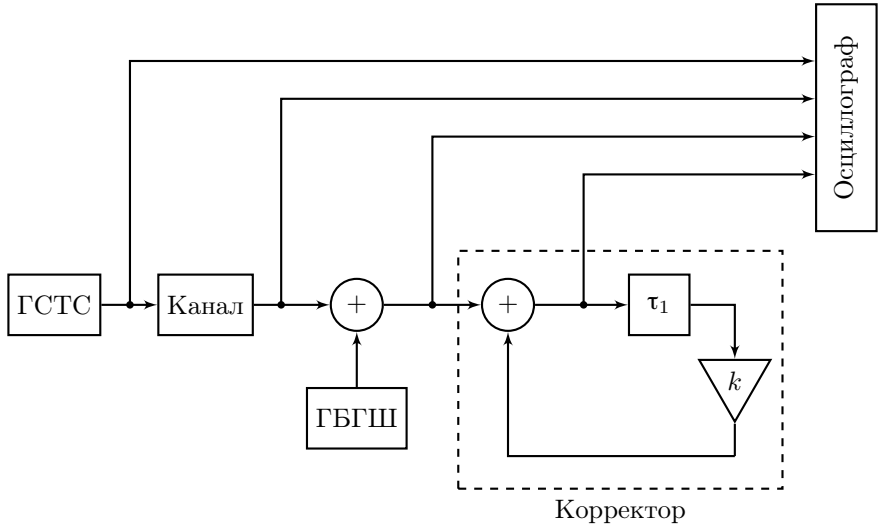


Рис. 2 Блок-схема модели корректора двухлучевого канала

На схеме:

- «ГСТС» — генератор СТС (собирается самостоятельно),
- «Канал» — двухлучевой канал (см. работу № 1),
- «ГБГШ» — генератор белого гауссовского шума (собирается самостоятельно),
- + — сумматор (блок «BIGSOM_f»),
- τ_1 — элемент задержки на время τ_1 (блок «TIME_DELAY»),
- k — весовой блок с коэффициентом $k = -\frac{\gamma_1}{\gamma_0}$ (блок «GAINBLK_f»),
- Осциллограф — блок «CMSCOPE».

На рис. 2 приведена рекурсивная схема корректора для случаев $|\gamma_0| > |\gamma_1|$ и $|\gamma_0| = |\gamma_1|$. Нерекурсивную схему для случая $|\gamma_0| < |\gamma_1|$ необходимо составить самостоятельно.

2.3 Содержание отчёта

1. Собранная схема моделирования.
2. Графики первичного сигнала, сигнала на выходе канала, зашумлённого сигнала и сигнала с выхода корректора для всех рассмотренных случаев (всего шесть графиков: три различных канала, для каждого канала два значения СКО шума).
3. Выводы.

2.4 Контрольные вопросы

1. Перечислите способы приёма сигналов в каналах с МСИ.
2. Поясните основные принципы построения корректоров.
3. В чём заключается суть алгоритма сведения к нулю?
4. В каких случаях применяется рекурсивная схема построения корректора? В каких — нерекурсивная?
5. Всегда ли возможна полная коррекция канала? Если нет, то почему?
6. Что происходит с канальным шумом при прохождении через корректор? Как это влияет на качество коррекции?
7. Поясните принцип реализации модели корректора средствами Xcos.

3 Модель цифрового когерентного демодулятора

В работе исследуется модель цифрового когерентного демодулятора для двухлучевого канала с корректором. Для упрощения процедуры отладки предлагается сначала собрать модель демодулятора в идеальном канале с АБГШ, убедиться, что демодулятор работает верно, и затем добавить к модели двухлучевой канал и корректор.

В качестве входного сигнала используется случайный синхронный телеграфный сигнал (СТС) с единичной амплитудой и тактовым интервалом $T_0 = 1$ с. Интервал дискретизации $\Delta t = 0.1T_0$. Вид модуляции — двоичная ФМ (ФМ2). Моделирование проводится для низкочастотного (НЧ) эквивалента сигнала.

3.1 Задание на лабораторную работу

1. Собрать схему цифрового когерентного демодулятора двоичной ФМ в идеальном канале с АБГШ.
2. Отобразить временные диаграммы первичного сигнала, смеси сигнала с шумом, сигнала с выхода интегратора, демодулированного сигнала и сигнала с выхода счётчика ошибок для двух значений СКО шума ($\sigma = 0$ и $\sigma = 1.5$).
3. Добавить к схеме двухлучевой канал из работы № 1 и корректор канала из работы № 2.
4. Отобразить временные диаграммы первичного сигнала, сигнала на выходе двухлучевого канала, смеси сигнала с шумом, сигнала с выхода корректора, демодулированного сигнала и сигнала с выхода счётчика ошибок для трёх различных соотношений лучей ($|\gamma_0| > |\gamma_1|$, $|\gamma_0| < |\gamma_1|$ и $|\gamma_0| = |\gamma_1|$) и двух значений СКО шума ($\sigma = 0$ и $\sigma = 1.5$). Задержка по первому лучу τ_0 в канале во всех случаях выбирается равной нулю, а по второму τ_1 — величине тактового интервала.
5. Увеличить время моделирования до $3000T_0$, записать конечное значение количества ошибок на выходе счётчика ошибок. Рассчитать и сравнить между собой экспериментальное и теоретическое значение вероятности ошибки. При этом осциллограф для вывода сигналов с различных участков схемы рекомендуется убрать для ускорения процесса моделирования.

3.2 Методические указания к выполнению лабораторной работы

Примерный список необходимых переменных:

- $T_0=1$ — тактовый интервал (1 с);
- $dt=0.1 \cdot T_0$ — интервал дискретизации сигнала (0.1 с);
- $T=T_0 \cdot 30$ — длительность сигнала (конечное время моделирования);
- $\gamma_0=1$ — коэффициент передачи по первому лучу (меняется в процессе выполнения работы);
- $\gamma_1=0.75$ — коэффициент передачи по второму лучу (меняется в процессе выполнения работы);
- $\sigma=1.5$ — СКО шума.
- $k=-\gamma_1/\gamma_0$ — коэффициент рекурсивной ветви корректора.
- $D=1 \cdot T_0$ — задержка сигнала на выходе демодулятора.

Пределы по осям ординат (y) осциллографа установите таким образом, чтобы получить наилучшее отображение сигнала. Интервалы обновления целесообразно установить равными конечному времени моделирования (длительности сигнала).

Примерный вид блок-схемы для моделирования цифрового когерентного демодулятора двоичной ФМ в идеальном канале с АБГШ показан на рис. 3.

На схеме рис. 3:

- «ГСТС» — генератор СТС (собирается самостоятельно),
- «ГБГШ» — генератор белого гауссовского шума (собирается самостоятельно),
- + — сумматор (блок «BIGSOM_f»),
- \int — интегратор (блок «INTEGRAL_m»), параметр **Initial condition** (начальное состояние) устанавливается в ноль, параметр **With re-initialization** (реинициализация) — в единицу (интегратор необходимо сбрасывать в конце каждого тактового интервала),
- 0 — константа, равная нулю (блок «CONST_f»),
- S/H — блок взятия отсчётов («SAMPOLD_m»),

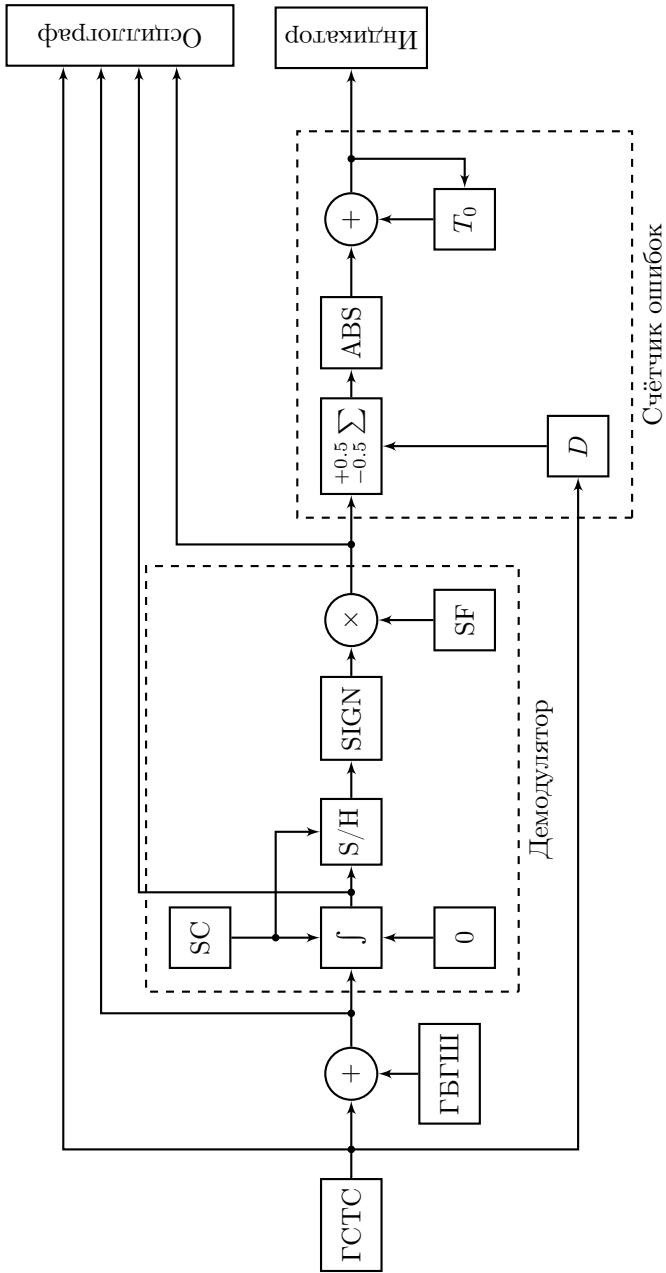


Рис. 3 Блок-схема модели цифрового когерентного демодулятора двоячной ФМ в идеальном канале с АБГШ

- SC — счётчик времени с интервалом T_0 (блок «SampleCLK»),
- SIGN — знаковая функция (блок «SIGNUM»),
- \times — умножитель (блок «PROD_f»),
- SF — функция включения с параметром `step time` (время включения) равным D (блок STEP_FUNCTION),
- D — элемент задержки на время D (блок «TIME_DELAY»),
- ${}_{-0.5}^{+0.5} \sum$ — взвешенная сумма: первый вход берётся с коэффициентом 0.5, второй — с коэффициентом -0.5 (блок «BIGSOM_f»),
- ABS — модуль (блок «ABS_VALUE»),
- T_0 — элемент задержки на время T_0 (блок «TIME_DELAY»),
- Осциллограф — многовходовый осциллограф (блок «CMSCOPE»),
- Индикатор — числовой индикатор (блок «AFFICH_m»).

Сигнал с выхода ГСТС непосредственно представляет собой НЧ эквивалент сигнала ФМ2, поскольку состоит из единичных импульсов положительной и отрицательной полярности, следовательно, никаких дополнительных операций для получения ФМ2 не требуется.

Демодулятор состоит из интегратора, блока взятия отсчётов и блока определения полярности (знаковой функции). Поскольку опорный сигнал для НЧ эквивалента ФМ2 равен единице ($s_p(t) = 1$), перемножение входного и опорного сигнала не требуется. Интегратор накапливает значения сигнала на интервале T_0 . Счётчик сбрасывает значение интегратора в ноль в конце каждого тактового интервала (для этого интервал дискретизации счётчика берётся равным T_0). Блок взятия отсчётов фиксирует значение на выходе интегратора на момент окончания тактового интервала (управляется тем же счётчиком, что и интегратор). Отрицательное значение интеграла соответствует -1 , положительное соответствует $+1$, что эквивалентно взятию знаковой функции. Т.о. схема демодулятора реализует алгоритм приёма по критерию Котельникова:

$$\int_0^{T_0} z(t)s_p(t)dt \underset{-1}{\overset{+1}{\gtrless}} 0.$$

Сигнал на выходе блока определения полярности перемножается с функцией включения. Функция включения равняется нулю до момента

времени D и единице, начиная с этого момента. Т.о. на выходе умножителя сигнал демодулятора принудительно обнуляется на интервале времени от 0 до D . В однолучевом канале такая операция не обязательна, а в многолучевом канале при наличии корректора задержка сигнала может оказаться равной нескольким тактовым интервалам, на протяжении которых решения на выходе демодулятора будут выноситься практически случайно. Эти случайные решения надо обнулить для правильной работы следующего за демодулятором счётчика ошибок.

Счётчик ошибок состоит из элемента задержки, сумматора с весовыми коэффициентами, блока взятия модуля и накапливающего сумматора (сумматор с элементом задержки). В идеальном канале демодулятор выдаёт решение с задержкой, равной тактовому интервалу $D = T_0$ (задержку для канала с МСИ при наличии корректора необходимо рассчитать самостоятельно), поэтому сигнал с ГСТС также необходимо задержать на эту же величину. Сумматор находит взвешенную сумму: вычитает исходный и демодулированный сигналы с коэффициентом 0.5, т.о. если сигналы на его входах одинаковы, на выходе будет 0, иначе на выходе будет ± 1 , т.к. в случае ошибки сигналы получаются противоположными. После взятия модуля получаем 0 для равных сигналов (ошибки нет) и 1 для противоположных (есть ошибка). Накапливающий сумматор накапливает эти значения, подсчитывая таким образом число ошибок.

Примерный вид блок-схемы модели цифрового когерентного демодулятора двоичной ФМ в двухлучевом канале с корректором показан на рис. 4.

На схеме рис. 4:

- «ГСТС» — генератор СТС (собирается самостоятельно),
- «Кан.» — двухлучевой канал (см. работу № 1),
- «ГБГШ» — генератор белого гауссовского шума (собирается самостоятельно),
- «Корр.» — корректор (см. работу № 2),
- «Дем.» — демодулятор (см. рис. 3),
- «Сч.ош.» — счётчик ошибок (см. рис. 3),
- Осциллограф — многоходовый осциллограф (блок «CMSCOPE»),
- Индикатор — числовой индикатор (блок «AFFICH_m»).

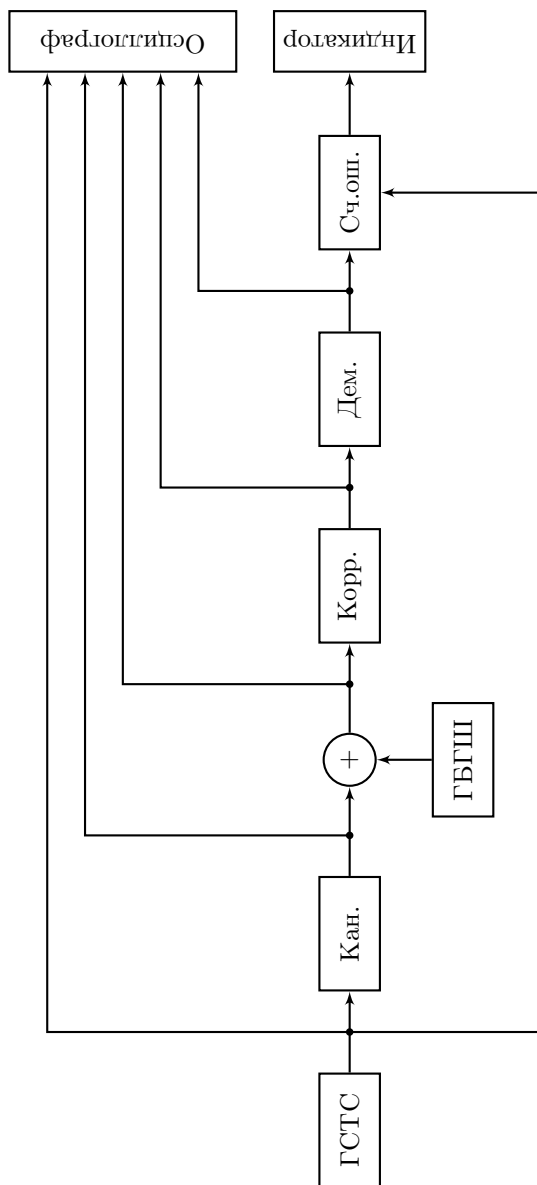


Рис. 4 Блок-схема модели цифрового когерентного демодулятора двоичной ФМ в двухлучевом канале с корректором

Экспериментальная вероятность ошибки (частота ошибки) рассчитывается как отношение числа ошибок к общему числу переданных бит:

$$P^*(\text{ош}) = \frac{N_{\text{ош}}}{N}.$$

Теоретическое значение вероятности ошибки для идеального когерентного приёмника с ФМ2:

$$P(\text{ош}) = Q\left(\sqrt{2h^2}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \cdot \frac{T_0}{\Delta t}}\right),$$

где $h^2 = E/N_0$ — отношение энергии сигнала к спектральной плотности мощности шума, $P = U_0^2$ — мощность сигнала, U_0 — амплитуда сигнала, $P_{\text{ш}}$ — мощность шума на выходе корректора:

$$P_{\text{ш}} = \frac{\sigma^2}{1 - k^2},$$

$k = \frac{\gamma_1}{\gamma_0}$ для $|\gamma_0| > |\gamma_1|$ и $|\gamma_0| = |\gamma_1|$, $k = \frac{\gamma_0}{\gamma_1}$ для $|\gamma_0| < |\gamma_1|$, T_0 — тактовый интервал, Δt — интервал дискретизации.

Значение Q -функции можно рассчитать через $\text{erf}(x)$ или $\text{erfc}(x)$ непосредственно в среде Scilab:

$$Q(x) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) = \frac{1}{2} \left[1 - \text{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \right].$$

3.3 Содержание отчёта

1. Собранная схема моделирования цифрового когерентного демодулятора в идеальном канале с АБГШ.
2. Графики первичного сигнала, смеси сигнала с шумом, сигнала с выхода интегратора, демодулированного сигнала и сигнала с выхода счётчика ошибок для двух значений СКО шума ($\sigma = 0$ и $\sigma = 1.5$).
3. Собранная схема моделирования цифрового когерентного демодулятора в двухлучевом канале с корректором.
4. Графики первичного сигнала, сигнала на выходе канала, смеси сигнала с шумом, сигнала с выхода корректора, демодулированного сигнала и сигнала с выхода счётчика ошибок для всех рассмотренных случаев (всего шесть графиков: три различных канала, для каждого канала два значения СКО шума).
5. Экспериментальное и теоретическое значение вероятности ошибки.
6. Выводы.

3.4 Контрольные вопросы

1. В чём состоит особенность приёма сигналов в многолучевом канале?
2. В какое место схемы включается корректор? Обоснуйте свой ответ.
3. Какой критерий оптимальности является основным при приёме дискретных сообщений? Что такое решающее правило? Какие решающие правила вы знаете?
4. Запишите алгоритм приёма двоичных сигналов по правилу максимального правдоподобия и изобразите соответствующую схему.
5. Чему равен разностный (опорный) сигнал и пороговый уровень для системы двоичной ФМ?
6. Чему равна вероятность ошибочной демодуляции при когерентном приёме двоичной ФМ?
7. Найдите энергию разностного сигнала для двоичной ФМ.
8. Опишите реализацию демодулятора двоичной ФМ средствами X_{\cos} .
9. Опишите реализацию счётчика ошибок средствами X_{\cos} .

4 Литература

1. Чингаева А. М. Визуальное моделирование в Scilab: Xcos (краткое руководство для начала работы). — Самара, 2015.
2. Николаев Б. И., Чингаева А. М., Харитонов А. А. Основы цифровой связи: учебное пособие. — Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2013. — 200 с.
3. Кловский Д. Д. Теория электрической связи. — М.: Радиотехника, 2009. — 648 с.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. — М.: Вильямс, 2007.
5. Прокис Дж. Цифровая связь. — М.: Радио и связь, 2000.
6. Теория электрической связи: учебник для вузов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, В. И. Коржик, М. В. Назаров; Под ред. Д. Д. Кловского. — М.: Радио и связь, 1998. — 432 с.
7. Алексеев Е. Р., Чеснокова Е. А., Рудченко Е. А. Scilab: Решение инженерных и математических задач. — М.: БИНОМ, 2008.

Чингаева Анна Михайловна

Задание и методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
«Основы современных технологий беспроводной связи»

для студентов 3 курса направления 210700
дневной формы обучения

«Обработка сигналов в беспроводных каналах»