

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК \_\_\_\_\_

Асламов  
Андрей Павлович

Синтез и исследование систем ортогональных псевдослучайных сигналов

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 80 02 «Радиотехника, в том числе системы и  
устройства радионавигации, радиолокации и телевидения»

---

Научный руководитель

Карпушкин Эдуард Михайлович

к.т.н., доцент

---

Минск 2016

## Введение

Мир сегодня переживает поистине самую настоящую "бескровную" революцию в области информационно-телекоммуникационных технологий (ИТТ), которые становятся одним из наиболее важных факторов, влияющих на формирование общества 21 века. Их воздействием в значительной степени обусловлены наметившиеся тенденции к глобализации мировой экономики и к построению информационного общества.

Информационное общество, как мы его представляем, позволяет людям шире использовать свой потенциал и реализовывать свои устремления. Для этого мы должны сделать так, чтобы ИТТ служили достижению взаимодополняющих целей обеспечения устойчивого экономического роста, повышения общественного благосостояния, стимулирования социального согласия и полной реализации их потенциала в области укрепления демократии, транспарантного и ответственного управления, международного мира и стабильности.

Для этого повсеместно необходимо развивать современные цифровые средства и системы связи, обеспечивающие свободный и надежный обмен разнотипной информацией (речью, данными, мультимедийной информацией) из любой доступной точки планеты.

Основой экономического роста в последующие десятилетия станет создание единого общемирового информационного пространства, включающего в себя все виды телекоммуникационных сетей из радио, проводных и оптоволоконных кабельных линий связи. Важная роль в этом процессе принадлежит беспроводным технологиям связи, бурный рост которых совместно с последними достижениями микроэлектроники открывают уникальные возможности по созданию глобальной системы персональной связи. За прошедшее десятилетие беспроводная персональная связь проложила путь от неопределенной концепции до глобальной телекоммуникационной службы, основу которой в настоящее время составляют системы подвижной радиотелефонной связи 2-го поколения с почти 400 миллионами подписчиков. Однако несовместимость большинства существующих систем 2-го поколения, а также их ограниченные возможности по увеличению пропускной способности и предоставлению качественно новых видов услуг вызвали потребность в создании концепции единого стандарта на системы мобильной связи. Одним из самых амбициозных проектов конца 20 века является концепция *IMT-2000* построения систем мобильной связи 3-го поколения (*3G*), в основе которой лежит принцип мобильного доступа ко всем ресурсам единого общемирового

информационного пространства из любой точки на поверхности Земли и в любое время.

Ключевой проблемой при построении систем мобильной связи является выбор метода многостанционного доступа, характеризующего способность базовой станции одновременно передавать и принимать сигналы мобильных абонентов. В настоящее время все более широкое распространение в системах мобильной связи получает технология многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (*Code Division Multiple Access* или сокращенно *CDMA*), основными принципами которой являются расширение спектра в сочетании с кодовым разделением физических каналов за счет использования псевдослучайных последовательностей (ПСП). Изначально технология *CDMA* возникла в 50-х гг. применительно к военной области для обеспечения скрытности и эффективной работы систем связи в условиях радиопротиводействия и многолучевого распространения сигналов.

Целью диссертационной работы является конструирование новых классов ПСП большого объема с близкой к идеальной автокорреляцией и сложной имитационной структурой, исследование их основных параметров: общего количества, взаимной корреляции и линейной сложности, а также разработка методов и устройств их генерации для систем связи с многостанционным доступом и кодовым разделением каналов.

Решение этой проблемы для систем связи с *CDMA* расширяет возможность выбора максимального по объему множества сигналов с заданной помехоустойчивостью и облегчает построение устройств синхронизации абонентских приемников при заданном числе абонентов. На основе этих последовательностей могут быть синтезированы системы ортогональных кодовых последовательностей большой линейной сложности и осуществлено криптозащищенное скремблирование передаваемой информации.

Решение поставленной задачи достигается посредством анализа и учета взаимно исключающих требований, предъявляемых к псевдослучайным последовательностям: многочисленность ансамбля, хорошие корреляционные свойства, большая линейная сложность и простота аппаратной реализации.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации** обусловлена необходимостью создания новых систем ортогональных сигналов для более рационального использования частотного пространства и предложения альтернативных методов защиты передаваемой информации.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка алгоритма синтеза систем ортогональных сигналов. Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- провести анализ состояния, основных проблем и перспектив развития синтеза систем сигналов;
- рассмотреть методологические аспекты работы данных систем;
- разработать алгоритм синтеза систем ортогональных сигналов;
- провести анализ существующих алгоритмов синтеза систем ортогональных сигналов;
- разработать компьютерную модель системы передачи информации с кодовым уплотнением на основе системы ортогональных сигналов.

**Объект исследования** – система ортогональных сигналов.

**Предметом исследования** является алгоритм синтеза систем ортогональных сигналов.

**Теоретико-методологическую основу исследования** составили труды отечественных и зарубежных ученых, занимающиеся теоретическими и практическими вопросами.

**Эмпирическую базу исследования** составили полученные в результате реализации алгоритма системы сигналов и модель системы передачи информации.

**Объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы. Работа содержит 79 страниц основного текста, 43 рисунка. Список использованной литературы включает 48 наименований.

## Краткое содержание работы

В основе алгоритма лежит использование так называемых смежных и парных последовательностей. Смежной называется последовательность, у которой на нечетных позициях символы совпадают, а на четных — противоположны. Парной называется последовательность, у которой первая половина символов совпадает, а вторая — противоположна. Выбор этих видов последовательностей обусловлен тем, что у смежных и парных последовательностей боковые лепестки АКФ равны по абсолютной величине и противоположны по знаку. В результате операций присоединения и перемеживания символов таких последовательностей возможно получить ряд последовательностей в два раза большей длины и так далее. Графически изображая данный алгоритм получим дерево систем сигналов, порожденных из одной исходной. Листинг программы алгоритма приводится ниже:

```
clc
clear all
Ap=[1 1 1 -1; 1 -1 1 1; 1 1 -1 1; 1 -1 -1 -1] %Изначальная Система
X=length(Ap(1,:));
Y=length(Ap(:,1)); % Определение Длины и Ширины Системы-матрицы
S(1:2:X)=1;
S(2:2:X)=-1; % Вектор для Создания Смежных серий
D(1:X/2)=1;
D(X/2+1:X)=-1; % Вектор для Создания Дополнительных серий
for (i=1:Y)
Aps(i,:)=Ap(i,:).*S; %Матрица Смежных серий
end
for (i=1:Y)
Apd(i,:)=Ap(i,:).*D; %Матрица Дополнительных серий
end
An=-1*Ap; % Создание Инвертированной Системы
for (i=1:Y)
Ans(i,:)=An(i,:).*S; %Матрица Смежных серий
end
for (i=1:Y)
And(i,:)=An(i,:).*D; %Матрица Дополнительных серий
end
for (i=1:Y)
A1(i,:)= [Ap(i,:),Apd(i,:)] %Ap+Apd
end
for (i=1:Y)
A2(i,1:2:2*X)=Ap(i,:)
A2(i,2:2:2*X)=Aps(i,:) %Ap+Aps
end
for (i=1:Y)
A3(i,:)= [Ap(i,:),And(i,:)] %Ap+And
end
for (i=1:Y)
A4(i,1:2:2*X)=Ap(i,:)
A4(i,2:2:2*X)=Ans(i,:) %Ap+Ans
```

```

end
for (i=1:Y)
A5(i,:)=An(i,:),Apd(i,:) %An+Apd
end
for (i=1:Y)
A6(i,1:2:2*X)=An(i,:)
A6(i,2:2:2*X)=Aps(i,:) %An+Aps
end
for (i=1:Y)
A7(i,:)=An(i,:),And(i,:) %An+And
end
for (i=1:Y)
A8(i,1:2:2*X)=An(i,:)
A8(i,2:2:2*X)=Ans(i,:) %An+Ans
end
for(i=1:Y)
    for(j=1:Y)
        Ort=sum(A8(i,:).*A8(j,:)); %проверка ортогональности
    end
end
C1=xcorr(A1(1,:));
plot(1:4*X-1,C1); %график автокорреляционной функции

```

В качестве одного из возможных примеров практического применения данных ансамблей была спроектирована модель системы передачи информации с кодовым уплотнением. Задача, которую решает данная система заключается в передаче нескольких сообщений (в нашем случае были выбраны четыре источника сообщений) по одному каналу. В соответствии с принципом комбинационного уплотнения информационный код в параллельной форме поступает в цифровой коммутатор, на выходе которого появляется соответствующая функция. Полученная последовательность модулирует несущее колебание по фазе, затем добавляется белый гауссовский шум. На приемной стороне в перемножителе происходит демодуляция, затем сигнал поступает в цифровой фильтр, построенный на основе интегратора и блока определяющего знак. Далее последовательность поступает в устройство обработки группового сигнала. Блок согласованных фильтров построен на основе устройств задержки и сумматоров с инверторами, каждый из которых настроен на свою последовательность. При детектировании своей последовательности согласованный фильтр подает короткий импульс на формирователь цифровых бит, построенный по принципу декодера. Далее информация поступает на приемники.

Изначально методы расширения спектра применялись при разработке систем управления и связи для борьбы с преднамеренными помехами, повышения помехоустойчивости, а в последние годы – снижения спектральной плотности при множественном доступе. Полоса частот информационного радиосигнала с расширенным спектром намного шире минимальной,

необходимой для передачи сообщения. Для сигнала длительностью  $T$  и шириной полосы  $F$  размерность пространства сигналов определяется величиной  $2FT$ . При расширении спектра сигнал расширяется в частотной области, а при переключении временных интервалов (в соответствие с заданным кодом) сигнал расширяется во временной области. В обоих случаях создание помех будет осложнено тем, что область, используемая сигналом в каждый момент времени будет неопределенной. Наиболее распространенными являются два метода расширения спектра сигнала:

- прямой последовательностью;
- скачкообразной перестройкой частоты.

Среди основных преимуществ использования сигналов с расширенным спектром в системах передачи информации можно выделить следующие:

1. Возможность обеспечения энергетической скрытности передаваемого сообщения (если средняя спектральная плотность информационного сигнала  $N_c$  меньше средней спектральной плотности шума  $N_{ш}$ ).

2. Возможность обеспечения структурной скрытности передаваемого сообщения за счет применения сложных, нелинейных алгоритмов формирования ПСП и программной смены форм ПСП.

3. Возможность повышения потенциальной помехоустойчивости системы без снижения скорости передачи информации и наоборот. При посимвольной передаче цифровой информации, когда каждой комбинации из  $n$  бит присваивается своя ПСП из заданного ансамбля  $m$  ортогональных ПСП. При этом, из-за увеличения времени анализа ( $T_{ан} = nT_0$ ), возрастает в  $n$  раз энергия информационного сигнала, а, следовательно, при оптимальной обработке во столько же раз возрастет отношение сигнал/шум и уменьшится вероятность ошибочного приема ( $P_{ош}$ ). Однако, сохраняя вероятность ошибочного приема не выше заданной, можно увеличить скорость передачи информации.

4. Эффективное подавление негауссовских помех за счет сжатия по времени или частоте.

5. Появляется возможность эффективно противостоять явлениям замирания и многолучевости при обеспечении времени корреляции ПСП, меньшем, чем время задержки.

6. Именно на основе ПС-сигналов возможно построение многостанционных систем МД с сохранением конфиденциальности связи между пользователями.

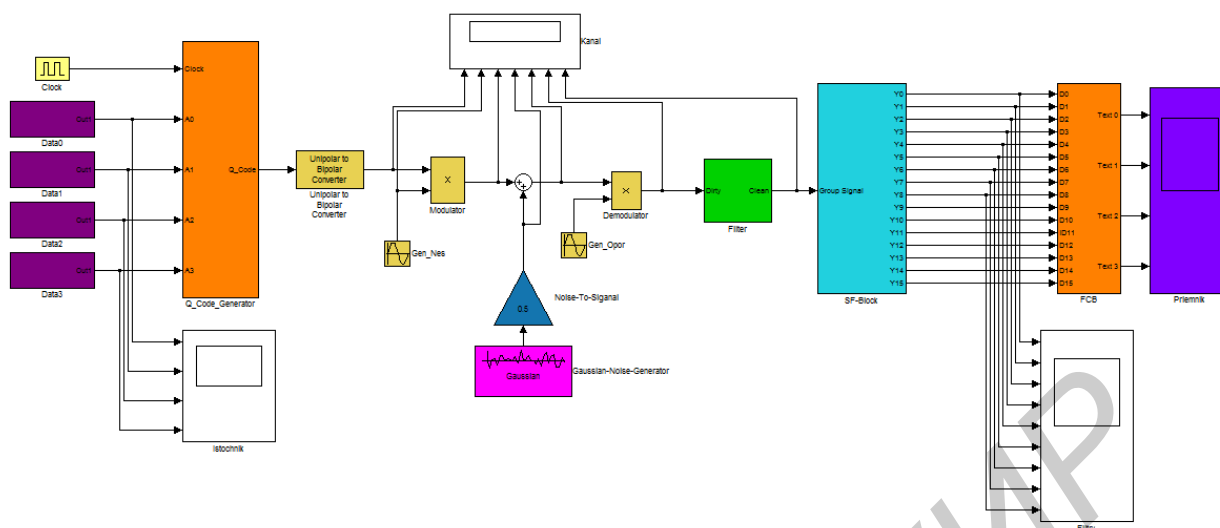


Рисунок 1.1 – Структурная схема моделирующей установки

В состав макета (рисунок 1.1) входят

- 4 источника цифровой информации (блоки Data0,1,2,3)
- Генератор ансамбля ЧКП с тактовым генератором (блоки Q-Code-Generator и Clock)
- Фазовый модулятор-перемножитель и демодулятор (блоки Modulator и Demodulator)
- Генератор несущего колебания и его копия на приемной стороне – генератор опорного колебания (блоки Gen\_Nes и Gen\_Opor)
- Генератор гауссовского шума (Gaussian-Noise-Generator)
- Регулятор мощности шума (блок Noise-To-Signal)
- Фильтр (блок Filter)
- Согласованные фильтры (блок SF-Block)
- Формирователь цифровых бит (блок FCB)
- Приемник информации (блок Priem)

На рисунке 1.2 приведена схема одного из 4 источников цифровой информации. Функцию этого блока выполняет генератор M-последовательности, которая формируется по полиному  $(x^2+x^5+1)$ .



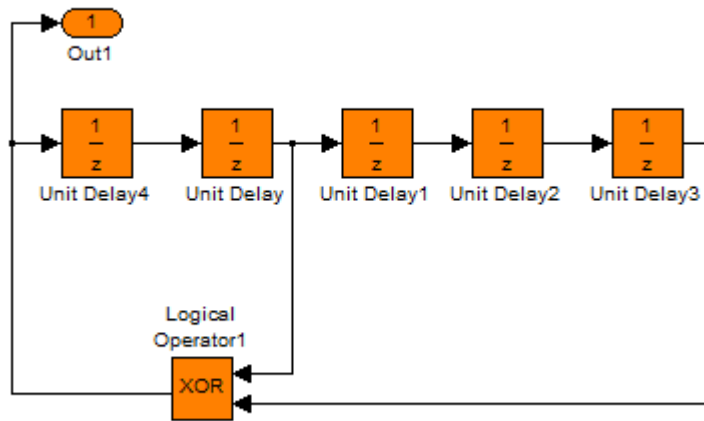


Рисунок 1.2 – Структурная схема источника сообщения

Для остальных источников использовались полиномы  $(x^3+x^5+1)$ ,  $(x^2+x^3+x^4+x^5+1)$ ,  $(x^4+x^5+1)$ . Генератор построен на регистре сдвига с обратной связью.

На рисунке 1.3 приведена схема генераторов ЧКП, формирующего одну из последовательностей ансамбля ортогональных ПСП значностью 16. В качестве кодового номера генерируемой последовательности используется комбинация информационных сообщений (входы A0, A1, A2, A3).

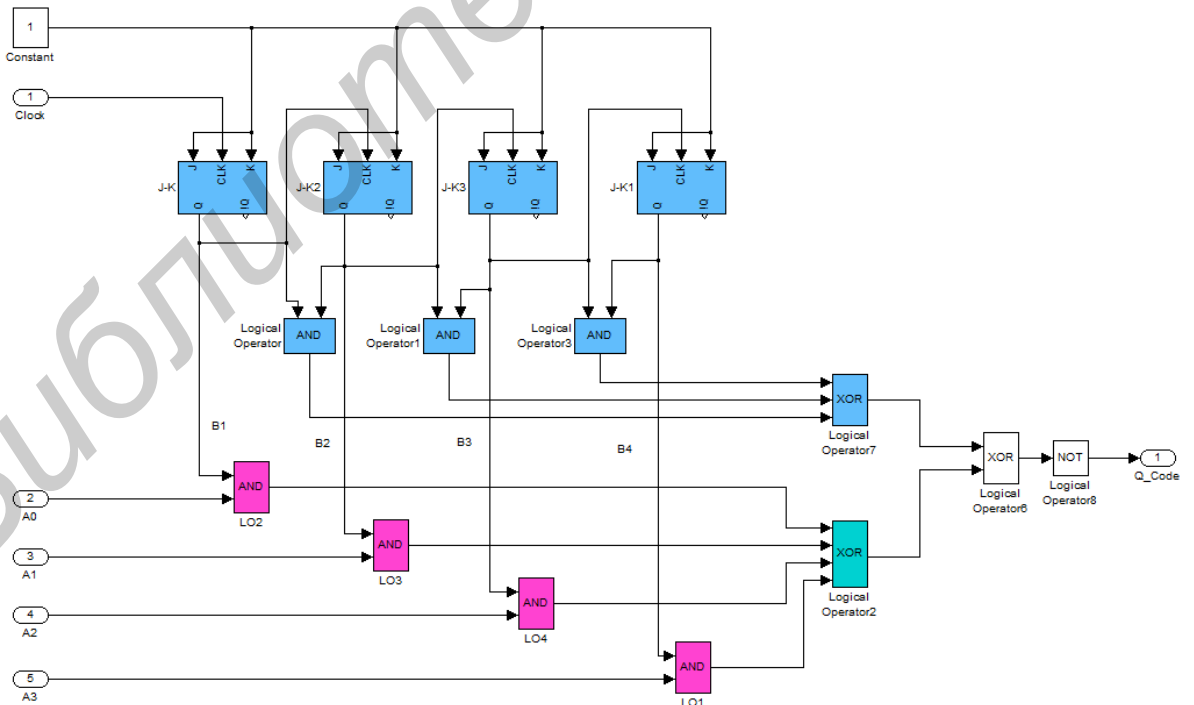


Рисунок 1.3 — Генератор ЧКП

Модулятор и демодулятор, производящие фазовую манипуляцию, представлены перемножителями и ФНЧ на рисунках 1.4 и 1.6. Колебания для них поступают от 2 генераторов. Сумматор позволяет добавить белый шум в сообщение. Преобразователь однополярного в биполярный сигнал используется для корректной фазовой манипуляции.

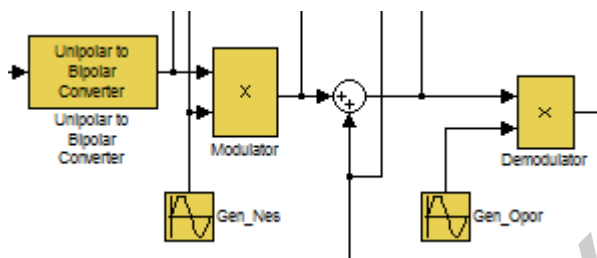


Рисунок 1.4 — Модулятор, Генераторы несущего колебания, Демодулятор, Канал передачи

На рисунке 1.5 представлен генератор гауссовского шума с ручной регулировкой отношения мощностей сигнал/шум.

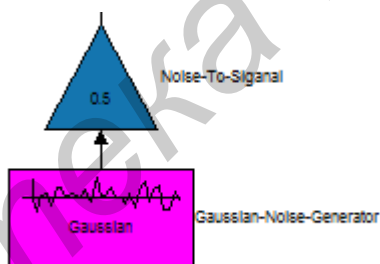


Рисунок 1.5. — Генератор шума

На рисунке 1.6 изображен фильтр нижних частот, основой которого является интегратор и пороговое устройство.

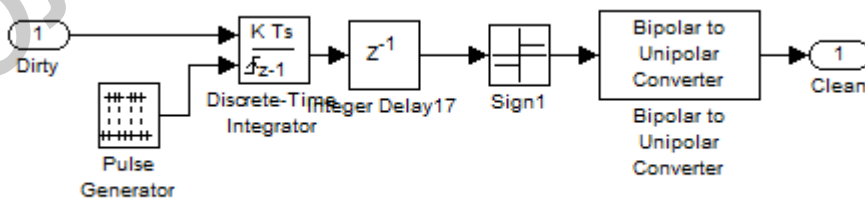


Рисунок 1.6 — Фильтр

Блок согласованных фильтров позволяет распознать какая из 16 последовательностей поступила с демодулятора. Согласованные фильтры имеют классическое исполнение и собраны на элементах задержки с отводами и суммирующем устройстве. Длительность задержки равна  $N/16$ . Знаки, с которыми суммируются сигналы, приходящие от отводов зависят от

конкретного вида ЧКП. Пример структурной схемы согласованного фильтра представлен на рисунке 1.7. Возможно использование одной линии задержки для всех согласованных фильтров. *Линия задержки и суммирующее устройство* изображены на рисунке 1.8

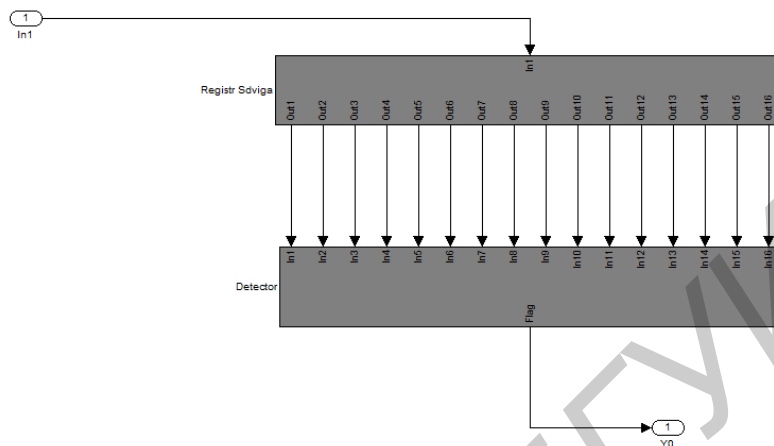


Рисунок 1.7 — Согласованный фильтр

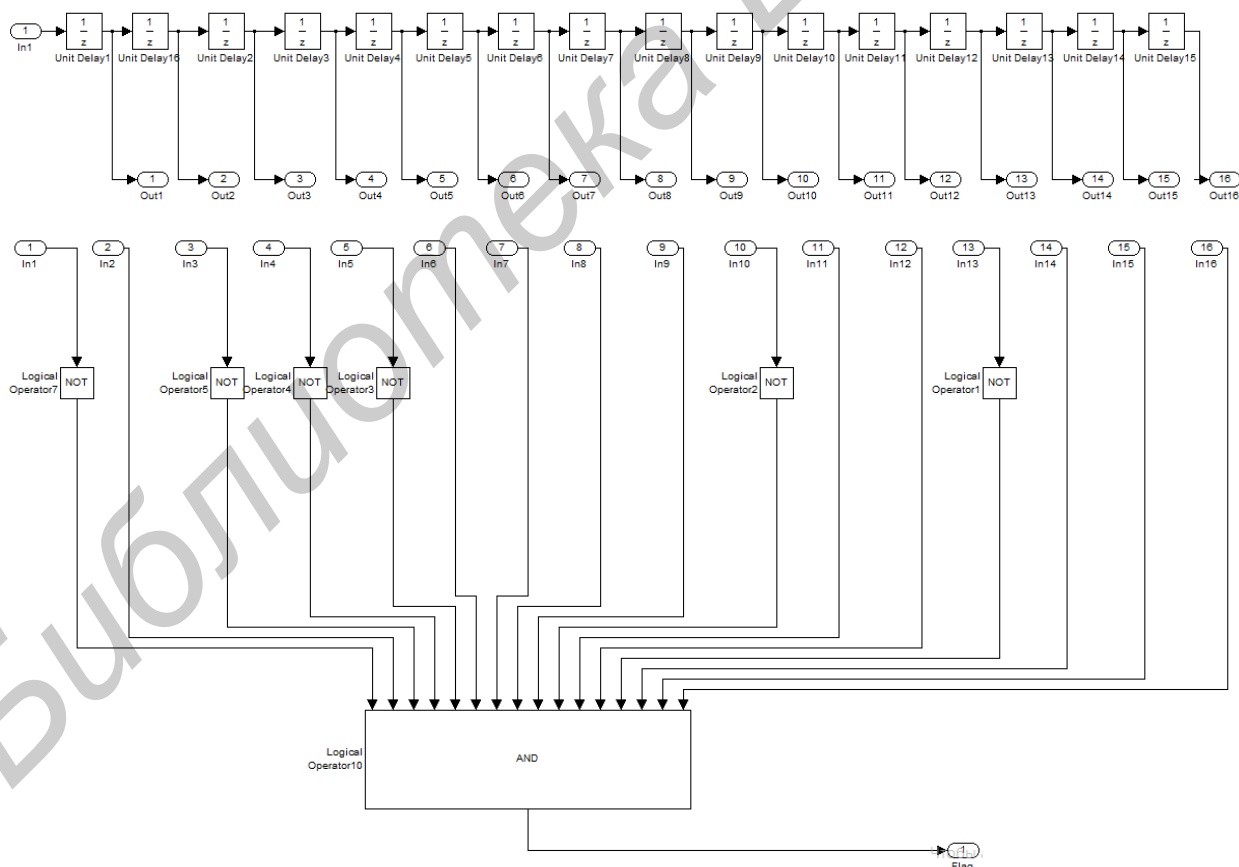


Рисунок 1.8 — Линия задержки и суммирующее устройство

На рисунке 1.9 приведен *формирователь цифровых бит*, построенный по принципу декодера.

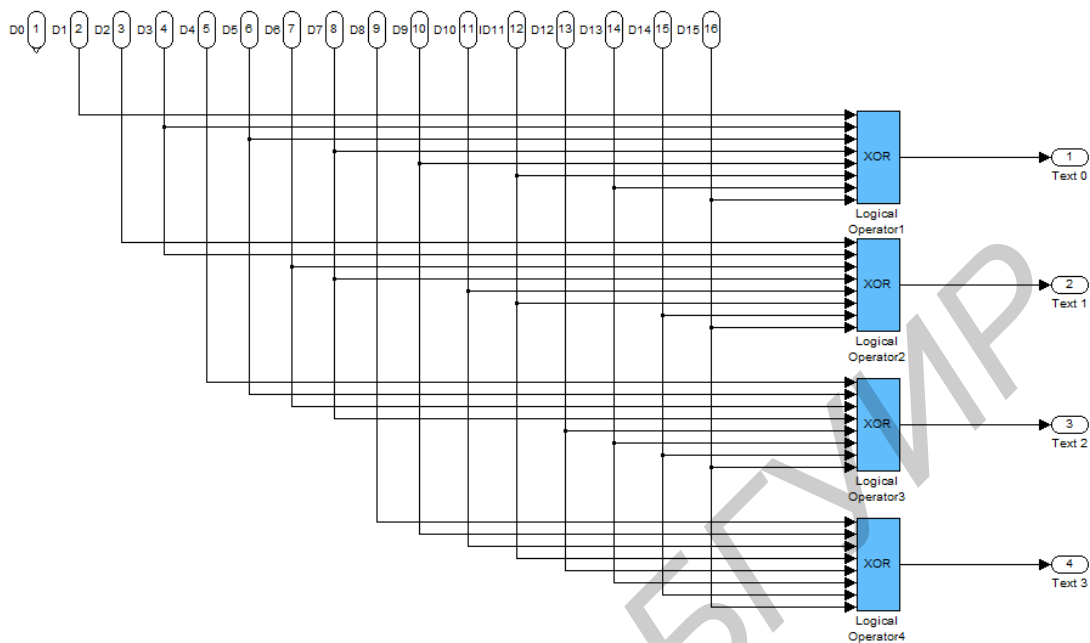


Рисунок 1.9 — Формирователь цифровых бит.

## Заключение

В результате выполнения магистерской диссертации были рассмотрены наиболее перспективные методы синтеза систем сигналов, а также произведена программная реализация одного из них, была разработана лабораторная работа для студентов, изучающих дисциплину «РСПИ». Приведено подробное описание синтезированной модели и предложены варианты физической реализации отдельных наиболее важных блоков. Создано учебно-методическое пособие к макету. Для проектирования модели был использован язык технических вычислений *MatLab*, а также встроенная в него система динамического моделирования *Simulink*.

Была разработана модель системы передачи информации с нелинейным комбинационным уплотнением каналов. Рассматриваемая система за счет использования псевдослучайной последовательности обеспечивает защиту от сосредоточенных помех, позволяет обеспечить энергетическую и структурную скрытность сообщения, даёт возможность противостоять замираниям и многолучёвости, а также за счет возможности увеличения времени передачи информационного сообщения повышает помехоустойчивость. Проведен подробный обзор методов эффективного использования единого ресурс связи, разработаны структурная и функциональная схемы.