

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

Кафедра радиотехнических систем

***ИССЛЕДОВАНИЕ
ШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОСИСТЕМЫ
ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ***

Методические указания
к лабораторной работе по дисциплине
«Радиосистемы передачи информации»
для студентов специальности «Радиоэлектронные системы»

Минск БГУИР 2012

УДК 621.396.2(075.8)
ББК 32.884.1я73
И88

Составитель:
Э. М. Карпушкин

Рецензент:
кандидат технических наук, доцент кафедры сетей
и устройств телекоммуникаций БГУИР
И. И. Астровский

И88 **Исследование** широкополосной радиосистемы передачи цифровой информации : метод. указания к лаб. работе по дисц. «Радиосистемы передачи информации» для студ. спец. «Радиоэлектронные системы» / сост. Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2012. – 20 с. : ил.
ISBN 978-985-488-828-6.

Издание содержит краткие теоретические сведения по широкополосным радиосистемам передачи цифровой информации, методам расширения спектра информационного сигнала. В лабораторной работе изучаются принципы построения радиосистем передачи цифровой информации с расширением спектра по методу прямой псевдослучайной последовательности, оценивается помехоустойчивость системы, анализируются потенциальные возможности широкополосной передачи цифровой информации.

УДК 621.396.2(075.8)
ББК 32.884.1я73

ISBN 978-985-488-828-6

© Карпушкин Э. М., составление, 2012
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2012

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с основными методами расширения спектра информационного сигнала.
2. Изучить преимущества систем передачи информации с расширенным спектром.
3. Изучить принципы построения широкополосных систем при побитной и посимвольной передаче цифровой информации.
4. Исследовать качественные характеристики широкополосной системы передачи цифровой информации методом прямой псевдослучайной последовательности.
5. Приобрести навыки в оценке потенциальной помехоустойчивости таких систем.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Методы расширения спектра

Изначально методы расширения спектра применялись при разработке систем управления и связи для борьбы с преднамеренными помехами, повышения помехоустойчивости, а в последующие годы – снижения спектральной плотности при множественном доступе. Полоса частот информационного радиосигнала с расширенным спектром намного шире минимальной, необходимой для передачи сообщения. Для сигнала с 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 соответствии с заданным кодом) сигнал расширяется во временной области. В обоих случаях создание преднамеренных помех будет осложнено тем, что область, используемая сигналом в каждый момент времени, будет неопределенной. Наиболее распространенными являются два метода расширения спектра сигнала: прямой последовательностью и скачкообразной перестройкой частоты. В данной лабораторной работе широкополосный ин-

формационный сигнал (ШПС) формируется методом прямой последовательности. Суть метода заключается во введении в информационный цифровой бит или группу битов (символ) псевдослучайной последовательности (ПСП) как поднесущей, и модуляции такой цифровой последовательностью одного из параметров несущего колебания (амплитуды, фазы, частоты). Такой ШПС называют псевдослучайным сигналом (ПС-сигналом). ПСП – это дискретная детерминированная видеопоследовательность, статистические характеристики которой приближаются к статистическим характеристикам случайных дискретных видеопоследовательностей.

Наибольший интерес для радиосистем передачи информации (РС ПИ) представляют ПС-сигналы с дискретной фазовой манипуляцией (ДФМн). Аналитически ПС-сигнал с ДФМн длительностью T записывается в виде

$$S(t) = A_0 \sum_{i=1}^N \text{rect}[t - (i-1)\tau_0] \exp[j(\omega_0 t + \varphi_i + \varphi_0)], \quad (2.1)$$

где $0 \leq t \leq N\tau_0$; τ_0 – длительность элементарного символа ПСП; N – количество элементарных символов на длительности T ($N\tau_0 = T$); φ_i – дискретные значения фазы, привязанные к соответствующим дискретным значениям модулирующей ПСП; а функция

$$\text{rect}[t - (i-1)\tau_0] = \begin{cases} 1, & \text{при } (i-1)\tau_0 \leq t \leq i\tau_0, \\ 0, & \text{при } (i-1)\tau_0 > t > i\tau_0. \end{cases} \quad (2.2)$$

Комплексная огибающая сигнала (2.1) и закон фазовой манипуляции определяются соответственно следующими выражениями:

$$\dot{A}(t) = A_0 \sum_{i=1}^N \text{rect}[t - (i-1)\tau_0] \exp[j\varphi_i], \quad (2.3)$$

$$A(t) = \text{Re}\{\dot{A}(t)\} = A_0 \sum_{i=1}^N \cos \varphi_i \cdot \text{rect}[t - (i-1)\tau_0]. \quad (2.4)$$

Функцию $\cos \varphi_i$ удобно выразить через символ a_i длительностью τ_0 ($\cos \varphi_i = a_i$), а ПСП – как ансамбль символов $\{a_i\}$, где $i = 1, 2, \dots, N$. Если $a_i \in \{1, -1\}$ ($\varphi_i \in \{0, \pi\}$), то ПСП будет двухуровневой или бинарной. При боль-

ших значениях a_i ПСП – многоуровневая или многофазная. Очевидно, что спектрально-корреляционные свойства ПС-сигнала с ДФМ полностью будут определяться модулирующей ПСП. Временное описание ПСП имеет вид

$$U(t) = \sum_{i=1}^N \cos \varphi_i \cdot \text{rect}[t - (i-1)\tau_0], \quad 0 \leq t \leq N\tau_0. \quad (2.5)$$

Ансамбли видеопоследовательностей можно отнести к классу ПСП, руководствуясь следующими свойствами.

1. Взвешенность. Характеризуется примерным равенством различных символов $\{a_i\}$ на длительности T .

2. Автокорреляционная функция (АКФ) последовательности близка к огибающей кнопочной функции, т. е. максимальный уровень бокового остатка существенно ниже уровня основного пика АКФ.

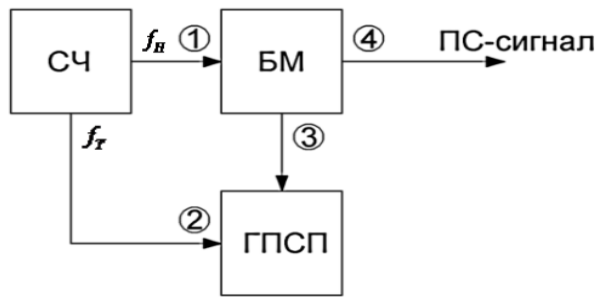
3. Спектральная плотность видеопоследовательности в пределах её эффективной полосы должна быть по возможности равномерной.

Существующие классы ПСП можно разбить на две группы: бинарные и небинарные.

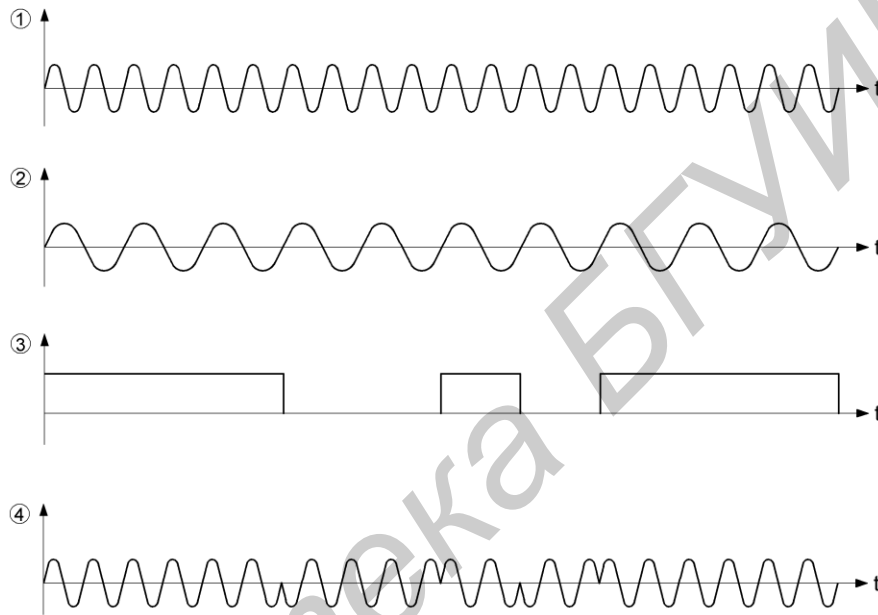
К числу небинарных ПСП относятся линейные рекуррентные последовательности (ЛРП) с основанием $P > 2$ (основание характеризует количество различных уровней в последовательности), последовательности Цирлера [3, 7], последовательности символов Лежандра, многофазные коды Фрэнка [6], последовательности Де Лонга, E-коды Велти [8] и др. Отличительной особенностью небинарных ПСП является низкий уровень боковых остатков АКФ, модуль которых для одиночной последовательности не превышает $\frac{1}{N}$ (АКФ нормированная), а для периодической – стремится к нулю. Однако большие аппаратные затраты, которых требуют многоуровневые ПСП при их формировании и обработке, привели к ограниченному их применению в РС ПИ.

Широкое применение в современных РС ПИ с ПС-сигналами нашли бинарные ПСП. На рис. 2.1 приведена структурная схема формирования ПС-сигнала с ДФМ для бинарной ПСП. Указанные на рис. 2.1, а обозначения соответствуют следующим узлам: СЧ – синтезатор двух когерентных частот f_H и f_T , ГПСП – генератор ПСП, БМ – балансный модулятор.

На рис. 2.1, б приведены эпюры, поясняющие процесс формирования ПС-сигнала с ДФМ. Для простоты изображения принято $f_H = 3f_T$.



а



б

Рис. 2.1

При побитной передаче цифровой информации длительность ПСП T выбирается равной длительности цифрового бита T_6 . При посимвольной передаче цифровой информации длительность ПСП $T = nT_6$, где n – количество бит в символе. Причем при побитной передаче достаточно двух ПСП (информационная модуляция: инверсная, ортогональная, по временной задержке), а при посимвольной необходим ансамбль ПСП $m = 2^n$ (информационная модуляция, в основном, ортогональная). База В ПСП выбирается исходя из полосы частот, отведенной для канала связи, и необходимости обеспечить выбранный метод передачи цифровой информации (побитный или посимвольный). Выбор базы влияет и на энергетическую скрытность передаваемой информации. На рис. 2.2 приведены временные диаграммы, поясняющие процесс формирования из

псевдослучайных последовательностей модулирующую несущее колебание последовательность элементарных символов.

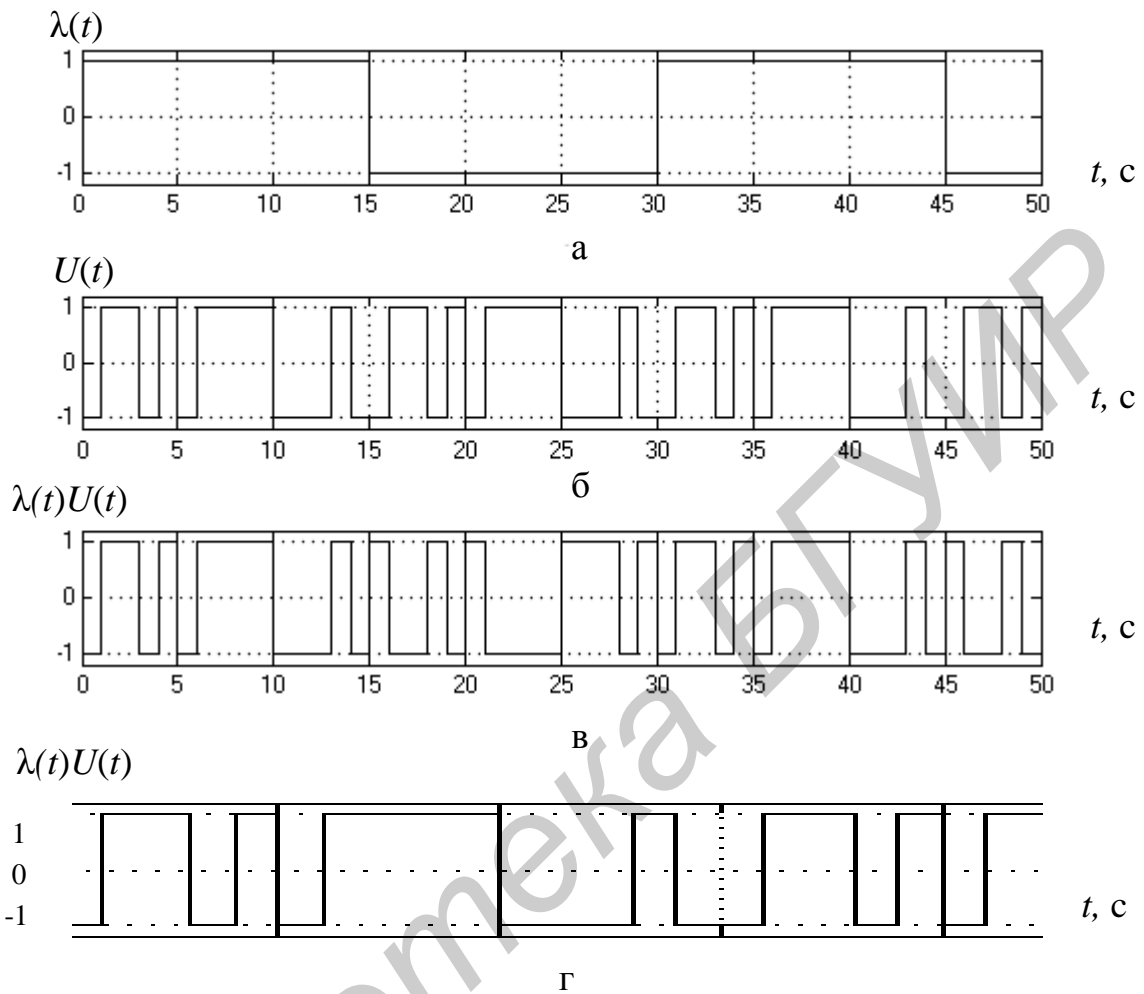


Рис. 2.2

Временной диаграмме рис. 2.2, а соответствуют битам цифровой информации, рис. 2.2, б – периодическая ПСП значности $N = 15$, рис. 2.2, в – информационная последовательность с инверсной манипуляцией (бит «1» – прямая ПСП, бит «0» – инвертированная ПСП), рис. 2.2, г – информационная последовательность из ортогональных ПСП ($m = 4$) значностью $N = 16$ на длительности $T = 2T_0$. При этом эффективная полоса частот для рис. 2.2, в возросла в 15 раз ($F_{эф} = 15/T_0$), для рис. 2.2, г – в 8 раз ($F_{эф} = 16/2T_0 = 8/T_0$).

На рис. 2.3 приведены кривые спектральных плотностей бита цифровой информации $F_6(f)$ и элементарного элемента информационной последовательности $F_n(f)$ с расширением эффективной полосы в 5 раз. Сравнительный анализ

показывает, что на заданной длительности модулирующей ПСП, увеличивая ее базу, можно существенно снизить уровень спектральной плотности ПС-сигнала.

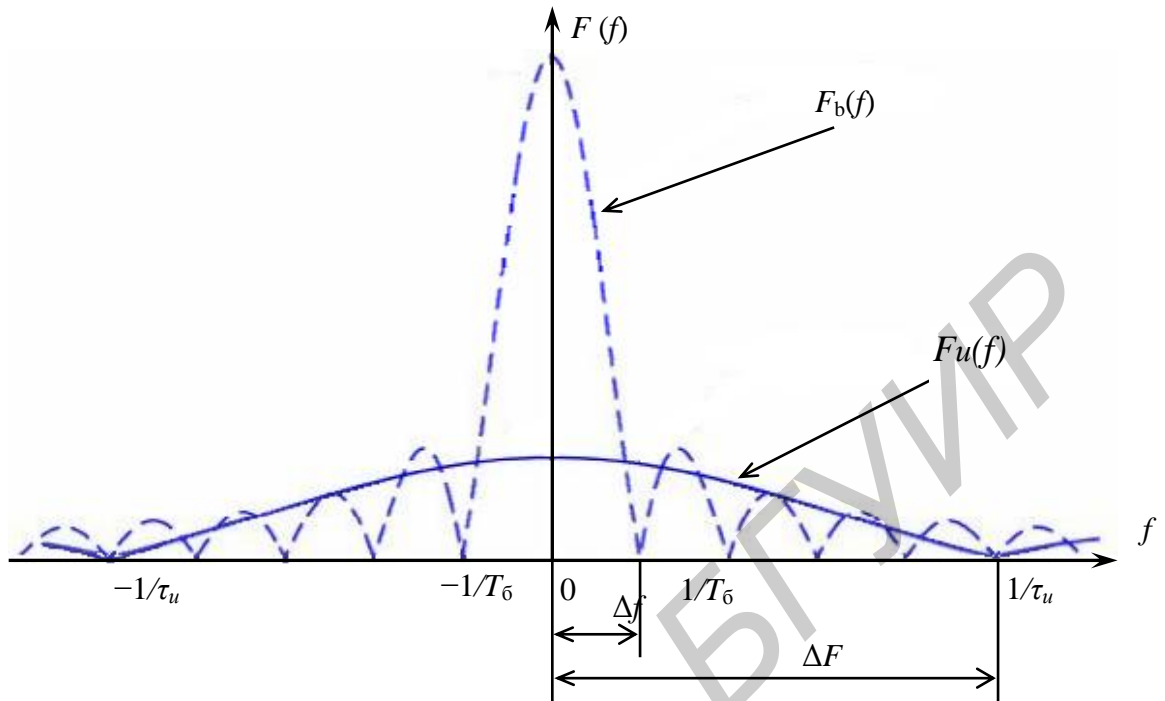


Рис. 2.3

Если спектральная плотность ПС-сигнала ниже спектральной плотности фонового шума, то обеспечивается энергетическая скрытность передаваемой информации.

В лабораторной работе для прямого расширения спектра информационного сигнала используется ансамбль ортогональных четверично-кодированных видеопоследовательностей (ЧКП). ЧКП относятся к классу бинарных ПСП, формируются нелинейным способом и имеют значность $N = 2^k$, где $k = 1, 2, 3, \dots$. Количество ЧКП одной значности равно N . Все они взаимно ортогональны. Процесс формирования ЧКП можно проследить, проанализировав порождающее выражение

$$A_j^k = \sum_{i=1}^{k-1} B_i^{(k+1)-i} B_{i+1}^{k-i} + \sum_{i=1}^k X_i^j B_i^{(k+1)-i}, \quad (2.6)$$

где $A_j^k = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ – условная запись одиночной ЧКП длительностью $T = N\tau_0$ порядка k номера j , символы которой $a_i \in \{0, 1\}$; $B_i^{(k+1)-i}$ – функция Радемахера (меандровая функция), определяемая на длительности T с номером i и порядком $[(k+1)-i]$; $X_i^j \in \{0, 1\}$ – значение i -го разряда номера последовательностью

A_j^k , представленного в двоичном виде (для ЧКП порядка K номер определяется K -разрядным двоичным числом). В (2.6) суммирование осуществляется по модулю 2, умножение – логическое, черта сверху – негатив.

Особенностью АКФ одиночной и периодической ЧКП является равенство нулю боковых остатков при сдвигах τ , кратных четным величинам длительности символов τ_0 .

Общее выражение для нормированной АКФ одиночной ЧКП имеет вид

$$\rho(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{\tau_0} \left(1 \pm \frac{1}{N}\right), & 0 \leq |\tau| \leq \tau_0; \\ \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} \rho[(2i-1)\tau_0] \left(1 - \frac{|\tau - (2i-1)\tau_0|}{\tau_0}\right), & 0 \leq |\tau - (2i-1)\tau_0| \leq \tau_0. \end{cases} \quad (2.7)$$

На рис. 2.4 представлены зависимости, отражающие характер изменения модуля максимального уровня бокового остатка АКФ одиночной ЧКП от ее порядка ($\log_2 N = K$). Причем зависимость 1 дает представление о верхнем уровне модуля максимального остатка, а зависимость 2 – о возможном нижнем уровне. Для сравнения пунктирная зависимость 3 характеризует модуль максимально возможного уровня бокового остатка АКФ одиночной M -последовательности.

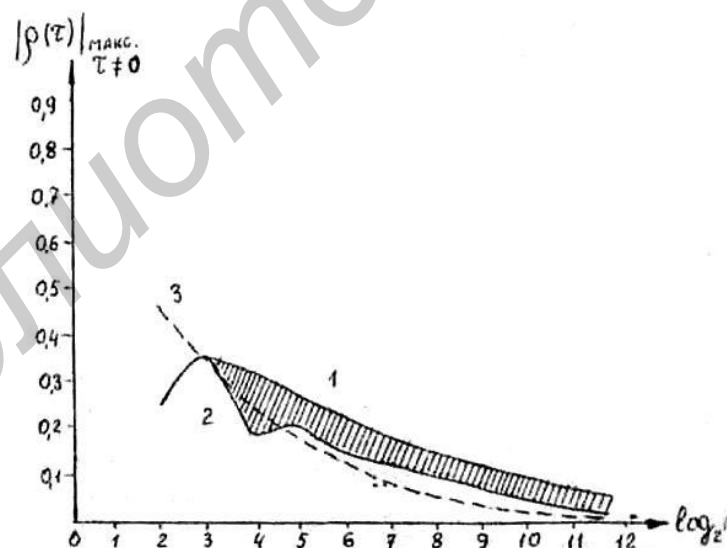


Рис. 2.4

2.2. Структурные схемы радиосистем передачи цифровой информации с ПС-сигналами

В лабораторной работе исследуются системы с ПС-сигналами и дискретной фазовой манипуляцией (ДФМ). На рис. 2.5 приведена структурная схема РС ПИ с ПС-сигналами и ДФМ при побитной передаче цифровой информации.

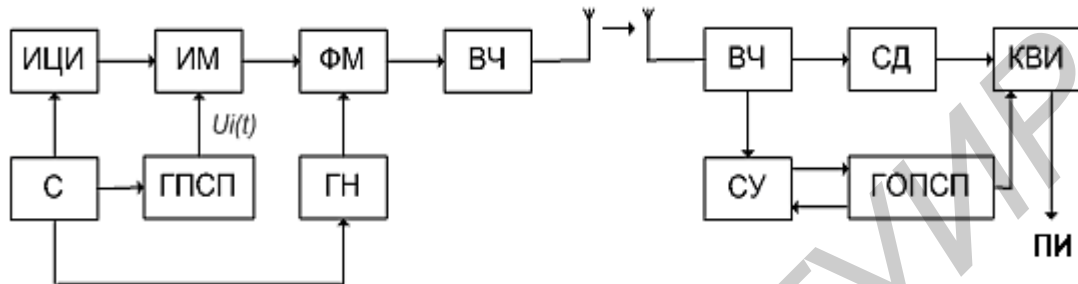


Рис. 2.5

Здесь ИЦИ – источник цифровой информации, ИМ – информационный модулятор, ГПСП – генератор ПСП, С – синтезатор опорных частот, ФМ – фазовый модулятор, ГН – генератор несущей, ВЧ – высокочастотная часть передатчика и приемника, СД – синхронный детектор, ГОПСП – генератор опорных ПСП, СУ – синхронизирующее устройство, КВИ – канал выделения информации (он может быть как корреляционного типа, так и на согласованных фильтрах).

ИМ обеспечивает на выходе следующее соответствие:

$$\begin{array}{l} \text{Биты} \quad '1' \rightarrow U_1(t) \rightarrow S_1(t) \\ \quad \quad '0' \rightarrow U_2(t) \rightarrow S_2(t) \end{array}$$

На входе приемника $x(t) = S_i(t) + n(t)$,

где $n(t)$ – аддитивный шум на входе приемника.

В зависимости от коэффициента взаимной корреляции различают:

- 1) ортогональную информационную модуляцию

$$\rho_{1,2} = \frac{1}{E} \int_0^t U_1(t)U_2(t) dt = 0;$$

- 2) инверсную информационную модуляцию

$$\rho_{1,2} = \frac{1}{E} \int_0^t U_1(t)U_2(t) dt = -1,$$

$$U_2(t) = -U_1(t);$$

3) информационную модуляцию по задержке

$$.1' \rightarrow U_1(t),$$

$$.0' \rightarrow U_2(t) = U_1(t - t_c).$$

Потенциальная помехоустойчивость структуры рис. 2.5 оценивается соотношением

$$P_{\text{ош}} = 1 - \Phi\left(\sqrt{q \cdot B(1 - \rho_{1,2})}\right), \quad (2.8)$$

где B – база ПСП,

q – отношение сигнал/шум по мощности на входе приемника в полосе сигнала.

На рис. 2.6 и рис. 2.7 приведены структурные схемы приемника и передатчика РС ПИ с ПС-сигналами и ДФМ при передаче цифровой информации по символам.

Если n – количество бит в символе, то необходимое количество ортогональных ПСП должно быть $m = 2^n$.

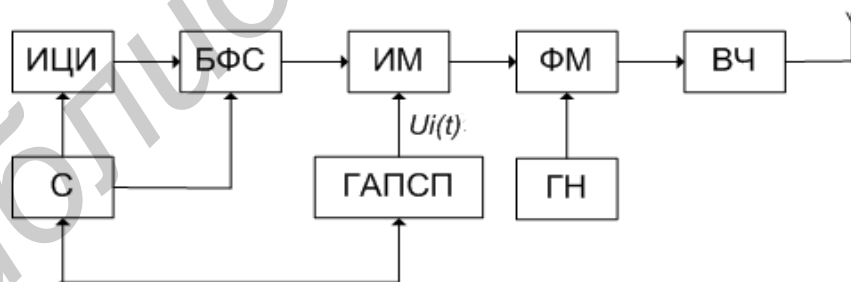


Рис. 2.6

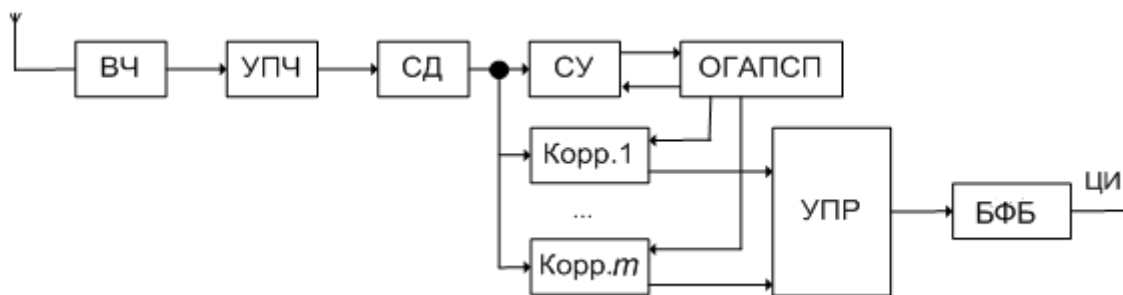


Рис. 2.7

В структурах на рис. 2.6 и рис. 2.7 БФС – блок формирования символов, ГАПСП – генератор ансамбля ортогональных ПСП, ОГПСП – опорный генератор ортогональных ПСП (копия ГАПСП), УПР – устройство принятия решения, БФБ – блок формирования бит, СУ – синхронизирующее устройство. Каждый коррелятор (корр.) в структуре приемника настроен на свою ПСП. Вместо корреляторов могут быть согласованные фильтры.

Потенциальная помехоустойчивость системы передачи цифровой информации по символам определяется выражением

$$P_{\text{ош}} = \frac{m-1}{n} \left[1 - \Phi(\sqrt{q_{\text{вх}}} B) \right]. \quad (2.9)$$

Основное достоинство РС ПИ с ПС-сигналами при посимвольной передаче цифровой информации заключается в возможности повышения потенциальной помехоустойчивости без снижения скорости передачи информации и наоборот.

2.3. Преимущества РС ПИ с расширенным спектром

Широкополосные системы передачи информации с ПС-сигналами имеют следующие достоинства.

1. Возможность эффективного подавления негауссовой помехи за счет сжатия по времени или частоте. При наличии узкополосной помехи ее режек-тируют, импульсной – селектируют, структурной – подвергают кодовой филь-трации и т. д.

2. Возможность эффективной борьбы с явлениями замирания и многолучево-сти (обеспечивается время корреляции ПСП, меньшее времени задержки лучей).

3. Возможность обеспечения энергетической скрытности передаваемого сообщения. Если средняя спектральная плотность информационного сигнала N_c меньше средней спектральной плотности шума N_n , то реализуется энергетическая скрытность передаваемого сообщения.

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

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

6. Возможность построения многостанционных систем (систем множественного доступа), в которых реализуется кодовое разделение каналов (CDMA). Одной из особенностей таких систем является сохранение конфиденциальности связи между пользователями, имеющими разные сигналы расширенного спектра. Отследить эти сигналы пользователю, не имеющему к ним доступа, – сложная задача.

3. СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Лабораторный макет для исследования широкополосной РС ПИ с ПС-сигналами выполнен в виде компьютерной модели в среде Simulink пакета MATLAB. На рис. 3.1 приведена структурная схема моделирующей установки. В состав макета входят: источник цифровой информации (блок Data), генераторы ЧКП (блоки розового цвета), информационный модулятор (информацион-

ный модулятор (блок красного цвета), генератор несущей (блок зеленого цвета), генератор шума (блок голубого цвета), генератор несущей (блок зеленого цвета), полосовой фильтр (блок желтого цвета), согласованные фильтры (блок серого цвета), три осциллографа, позволяющие наблюдать временные диаграммы процессов.

Цифровая информация и ПСП поступают на информационный модулятор, с выхода которого появляется последовательность двух ПСП. Информационный бит «1» заполняется ПСП 1, а бит «0» заполняется ПСП 2. Далее эти последовательности модулируют несущие колебания по фазе, образуя ПС-сигнал с ДФМ. Этот сигнал аддитивно суммируется с шумом, имитируя канал связи. На приемной стороне происходит демодуляция ПСП, и она поступает на вход полосового фильтра. С выхода полосового фильтра отфильтрованная ПСП поступает на вход своего согласованного фильтра. Фильтр настроен на эту ПСП. С выхода согласованного фильтра пиковое значение автокорреляционной функции ПСП поступает на устройство принятия решения. На второй вход устройства принятия решения поступает сигнал со второго согласованного фильтра. На выходе устройства принятия решения формируется принятая цифровая информация (цифровые биты).

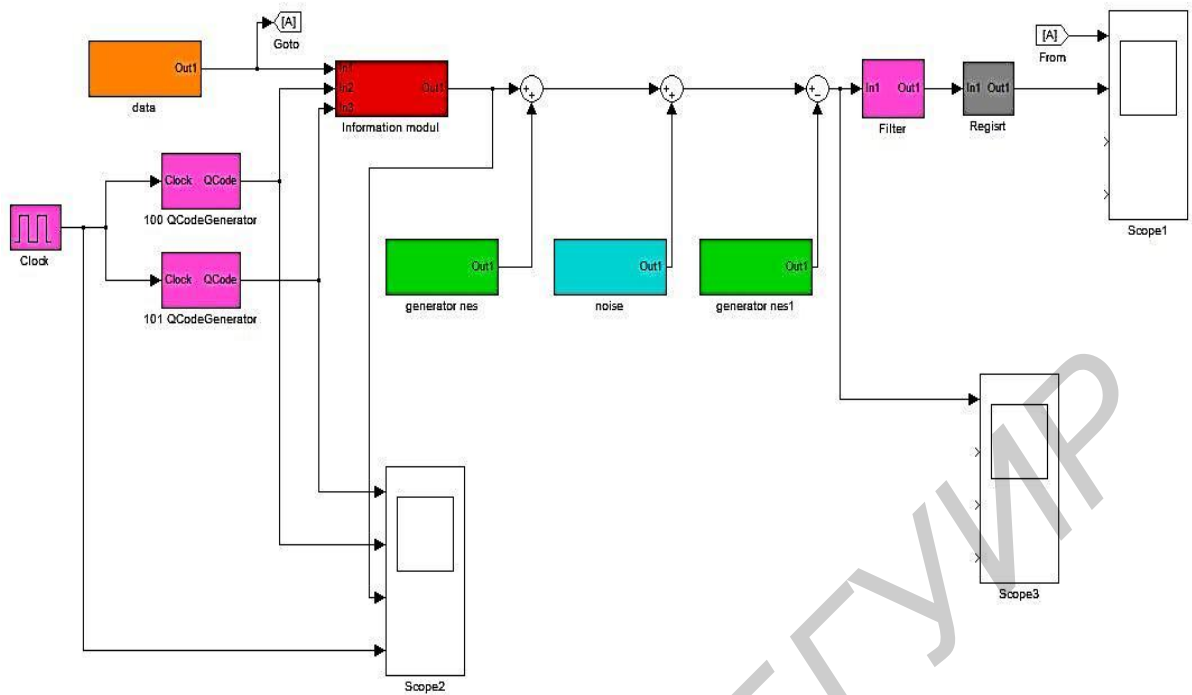


Рис. 3.1

На рис. 3.2 приведена структурная схема источника цифровой информации. Функцию этого источника выполняет генератор М-последовательности, которая формируется по полиному $(x^4 + x^3 + 1)$ с частотой $f_{и}$. Генератор построен на регистре сдвига с обратной связью.

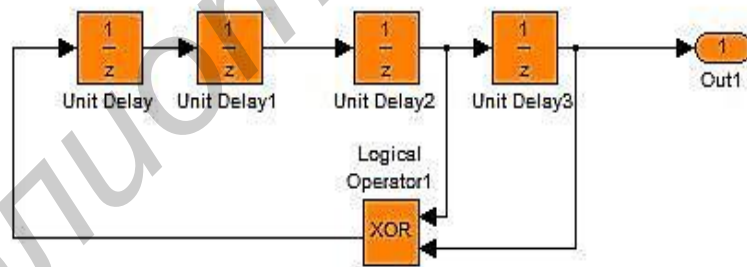


Рис. 3.2

На рис. 3.3 приведены генераторы ЧКП, формирующие две ортогональные ПСП значностью $N = 8$ с номерами 1 и 5. Алгоритм формирования ЧКП нелинейный и соответствует выражению (2.6). ЧКП с номером 1 заполняет бит «1», а ЧКП с номером 5 заполняет бит «0».

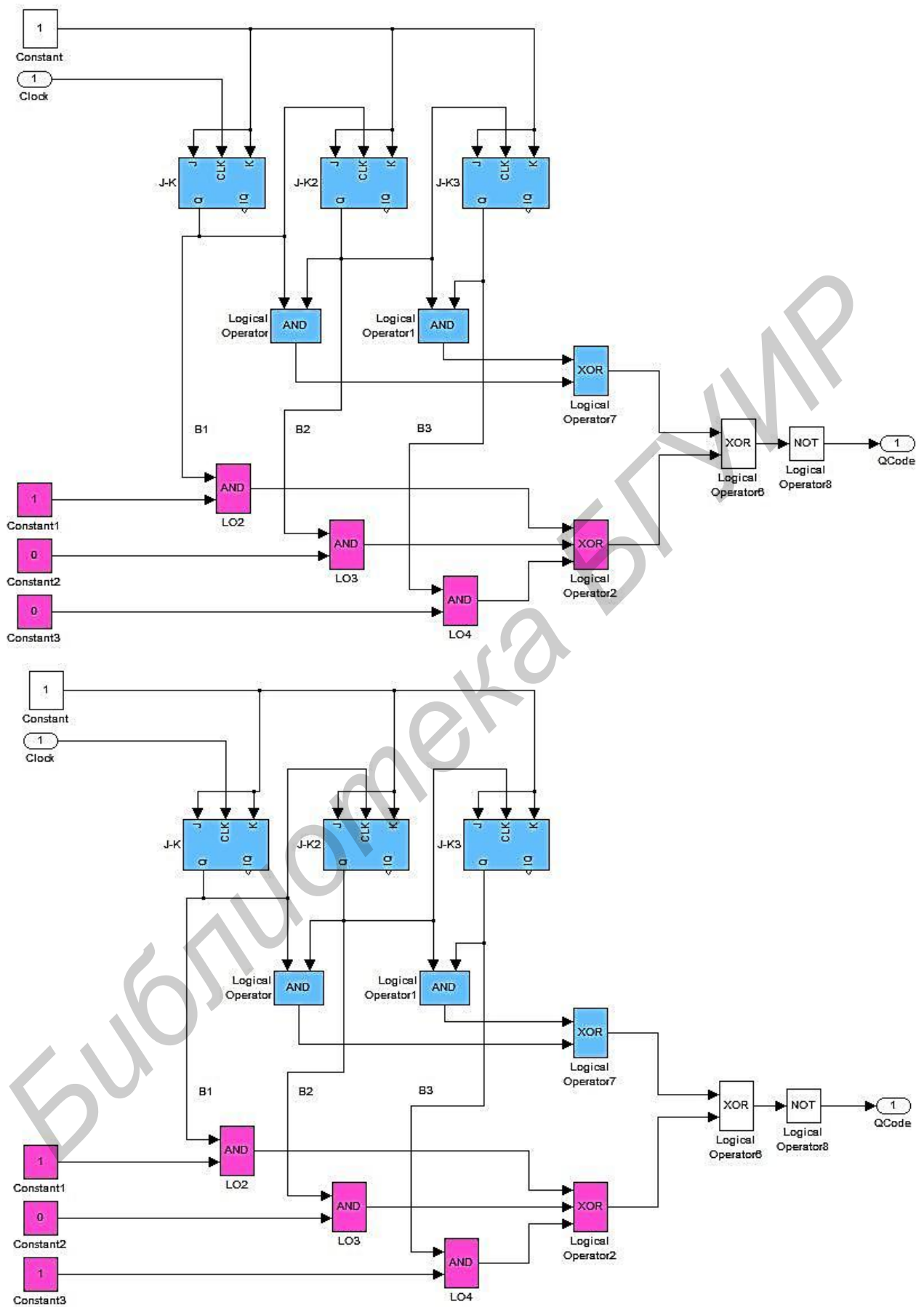


Рис. 3.3

На рис. 3.4 приведена структурная схема информационного модулятора, который обеспечивает ортогональную информационную модуляцию (ЧКП 1 и ЧКП 2 взаимно ортогональны).

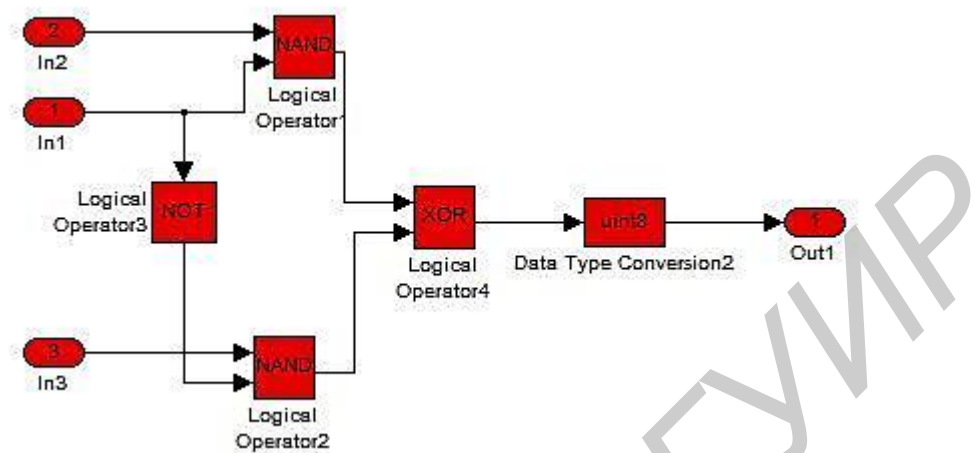


Рис. 3.4

На рис. 3.5 приведена структурная схема имитатора шума, который построен на основе генератора М-последовательностей с полиномом $(x^4 + x + 1)$ с тактовой частотой $f_{ш} = 10 f_{и}$.

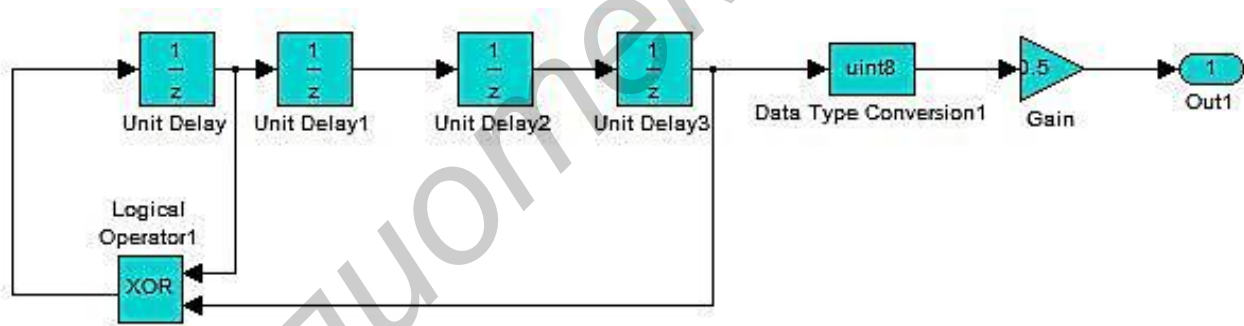


Рис. 3.5

На рис. 3.6 приведена структурная схема полосового фильтра, который выделяет на приемной стороне выделенную после синхронного детектирования ЧКП. Этот фильтр задает два логических уровня сигнала. Уровень «1» – от 0,9 до 1,5, а уровень «0» – от 0,2 до 0,6.

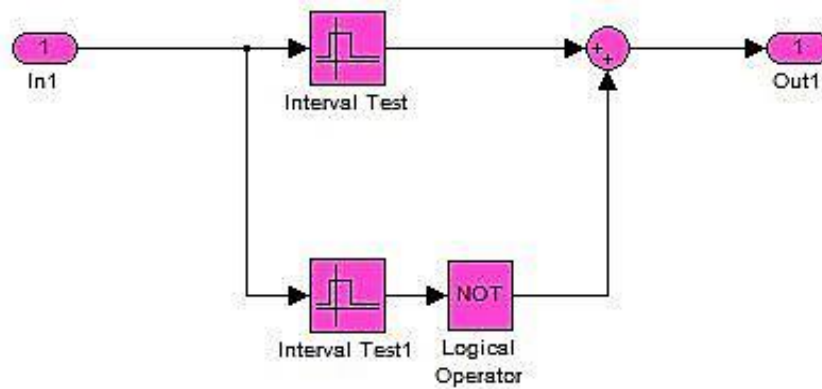


Рис. 3.6

На рис. 3.7 приведена структурная схема блока согласованных фильтров, который состоит из следующих узлов: регистр сдвига на 8 разрядов (значность $N = 8$), блок дешифратора 1 для ЧКП с номером 1 и блок дешифратора 2 для ЧКП с номером 5. С выхода блока согласованных фильтров поступает выделенная цифровая информация, качество которой можно проанализировать с помощью осциллографа.

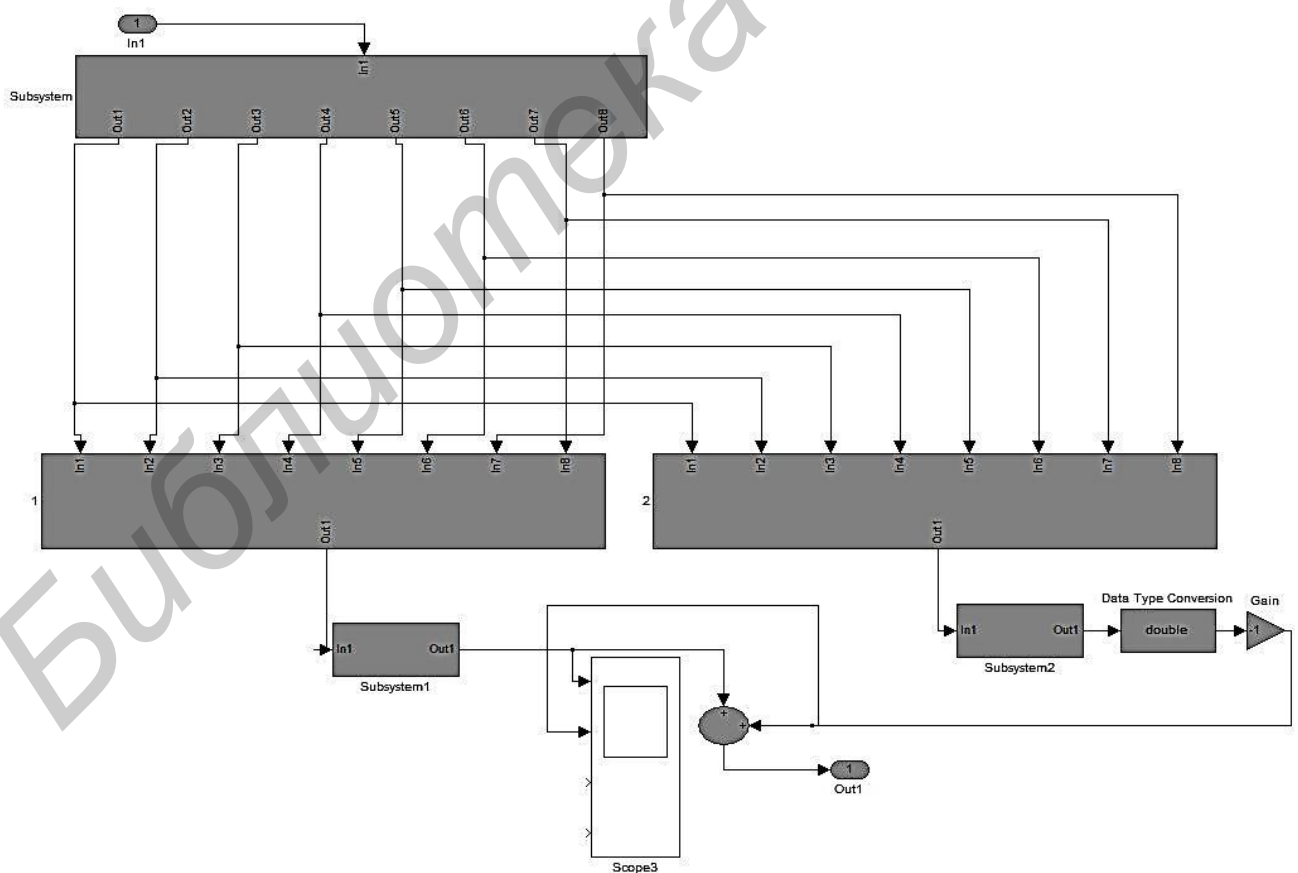


Рис. 3.7

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Лабораторное задание

По формуле (2.8) рассчитать $P_{\text{ош}}$ для $B = 8$ и отношений сигнал/шум $q = (0,5 - 5)$.

По формуле (2.9) рассчитать $P_{\text{ош}}$ для $B = 8$, $n = 2$ и отношений сигнал/шум $q = (0,5 - 5)$.

Изучить работу системы, используя теоретическую часть методических указаний (разделы 2, 3).

4.2. Выполнение лабораторной работы

1. Включить компьютер (чтобы появился рабочий стол).
2. Найти значок Matlab и запустить его.
3. В Matlab нажать кнопку Simuling (появляется окно «Библиотека блоков»).
4. Нажать кнопку «Открыть» (появляется окно с файлами), перейти в нужную папку (с файлами моделей), выбрать файл «Модель original» (появляется окно со структурной схемой установки).
5. Перейти в окно Matlab и открыть командное окно. Ввести значение переменной $N = 0,1$ (задание длительности импульсов).
6. Перейти в окно Simuling во вкладке Simulation и нажать кнопку «Старт». После запуска моделирования в осциллографах будут доступны временные диаграммы в характерных точках структуры.
7. Снять временные диаграммы, поясняющие формирование и обработку информационного сигнала.
8. Оценить потенциальную помехоустойчивость системы в условиях действия шума. Анализ проводить с помощью осциллографа на конечном участке.
9. Сравнить полученные результаты с предварительным заданием.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Формулировка цели работы.
2. Предварительное задание.
3. Результаты изучения работы системы.
4. Выводы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основной признак широкополосной системы связи.
2. Назовите основные методы расширения спектра информационного сигнала.
3. Дайте определение ПСП.
4. Почему функции Уолша не относятся к классу ПСП?
5. Назовите основные критерии псевдослучайности детерминированных последовательностей.
6. Назовите основные преимущества РС ПИ расширенного спектра.
7. Объясните, каким образом система расширенного спектра расшифровывает скрытые в шумах сигналы.
8. Объясните, как в широкополосных системах можно повысить скорость передачи информации без ухудшения потенциальной помехоустойчивости?
9. Объясните, как широкополосные системы одновременно работают в одной полосе частот, не мешая друг другу?

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиотехнические системы передачи информации / под ред. В. В. Калмыкова. – М. : Радио и связь, 2005.
2. Информационные технологии в радиотехнических системах / под ред. И. Б. Федорова. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.
3. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2003.
4. Карпушкин, Э. М. Основы теории радиотехнических систем. В 2 т. / Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 1993; 2007.
5. Карпушкин, Э. М. Радиосистемы передачи информации : учеб.-метод. пособие / Э. М. Карпушкин. – Минск : БГУИР, 2008.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОСИСТЕМЫ
ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Методические указания
к лабораторной работе по дисциплине
«Радиосистемы передачи информации»
для студентов специальности «Радиоэлектронные системы»

Составитель:
Карпушкин Эдуард Михайлович

Редактор Г. С. Корбут
Корректор А. В. Бас
Компьютерная верстка Ю. Ч. Клочкевич

Подписано в печать 02.05.2012.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 60x84 1/16.
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,4.
Заказ 453.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6