

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
«Высшая школа электроники и компьютерных наук»
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

Допустить к защите
Заведующий кафедрой
_____ Даровских С.Н.

“ ____ ” _____ 2017 г.

**Сверхширокополосные системы связи с использованием хаотической
несущей**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – Д 11.03.02.17.382.00 ПЗ

Научный руководитель:

Казимиров А.Н.

“ ____ ” _____ 2017 г.

Автор работы

студент группы КЭ-438

Кутняшенко А.И.

“ ____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер

Спицына В.Д. _____

“ ____ ” _____ 2017 г.

Челябинск
2017

РЕФЕРАТ

Кутняшенко А.И. Сверхширокополосные системы связи с использованием хаотической несущей

Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2017, 50 с. - Библиографический список – 7 наименований.

В данной дипломном проекте рассмотрены сверхширокополосные системы связи с использованием хаотической несущей. Рассмотрены следующие разделы: детерминированный хаос, СШП-технологии, хаотические сигналы в системах связи, СШП хаотические сигналы, беспроводные сенсорные сети

В дипломе так же представлены структурные и принципиальные схемы приемников, передатчиков и приемопередатчиков.

					<i>ЮУрГУ-Д 11.03.02.17.382.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Кутняшенко А.И</i>			<i>Сверхширокополосные системы связи с использованием хаотической несущей</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Казимиров А.Н</i>					3	50
						<i>ЮУрГУ, кафедра ИКТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Спицына В.Д</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Даровских С.Н</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 Детерминированный хаос	8
2 СШП-технологии	8
2.1 Нормативная база СШП связи	11
2.2 Перечень СШП-технологий	14
2.3 Необходимость применения СШП-сигналов	19
3 Хаотические сигналы в системах связи	21
3.1 Нелинейное подмешивание информационного сигнала к хаотическому	21
3.2 Реализация схемы с нелинейным подмешиванием на двух отдельных сигнальных процессорах	23
3.3 Хаотический отклик	24
3.4 Оценка качества передачи информации	28
3.5 Принципиальная схема системы связи	29
Ошибка! Закладка не определена.4 СШП хаотические сигнала- лы	32
4.1 Принципы построения систем связи на основе хаотических сигналов	32
4.2 Структура приемопередатчика на СШП хаотических сигналах	36
4.3 Эффект многолучевого усиления в системе с СШП хаотическими радиоимпульсами	37
5 Беспроводные сенсорные сети	40
5.1 Функционирование сенсорных сетей	42
5.2 Беспроводные сенсорные сети на сверхширокополосных сигналах	43
5.3 Применение сенсорных сетей	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	50

ВВЕДЕНИЕ

Радиосвязь, основателями которой были выдающиеся инженеры и ученые М. Фарадей, Дж.К. Максвелл, Г. Герц, А.С. Попов, Г. Маркони, Н. Тесла, как средство коммуникаций существует уже более 100 лет. При развитии беспроводной (радио) связи возник вопрос о ее массовом использовании, что обусловило в 20-30 гг. XX века создание радиовещания и построение сетей радиовещательных станций. В 1930-1940 гг. было создано телевидение как новое направление в радиосвязи. Развертывание беспроводных сетей телевидения обеспечило доступ к высококачественной видеoinформации в ранее удаленных от цивилизации уголках земного шара и за его пределами.

Развитие радиосвязи стало возможным благодаря совместным усилиям исследователей и разработчиков в различных областях техники и науки. При реализации масштабных проектов массовой радиосвязи, а также при более специальных ее применениях возникли и успешно развивались такие направления в науке, как радиофизика и теория информации. Уже в 20-е гг. XX века некоторым выдающимся ученым и инженерам (эти термины в отношении них практически невозможно разделить), стала ясна необходимость более глубокого изучения физических явлений, связанных с генерацией, модуляцией, излучением, распространением, приемом и обработкой радиосигналов. Также нужно было решить фундаментальные вопросы, связанные с содержанием передаваемых сигналов. Хотя развитие радиосвязи началось с систем дискретной передачи информации, радиовещание и телевидение – наиболее массовые системы, использующие радиотехнологии, которые в течение многих лет являются аналоговыми системами. Научный прорыв, совершенный в 1930-1940-е гг. В.А. Котельниковым, и результаты, полученные К. Шенноном, составили основу теории информации. Эти работы были поддержаны и математически обоснованы в трудах А.Н. Колмогорова, А.Я. Хинчина, Р.Л. Стратоновича, А.М. Яглома и других советских ученых, что привело к формированию теории информации как научной дисциплины.

Успешное развитие радиофизики, электроники (элементной базы) и теории информации в 1950-1960-х гг. позволило решить ряд чрезвычайно сложных задач космической связи и радиолокации планет. С точки зрения массовых коммуникаций выдающимся событием стало в этот период появление и развитие спутниковой связи. Для этой цели начали использовать спутники на высокоэллиптических и стационарных орбитах. Выяснилось, что необходимо передавать через спутники-ретрансляторы разнообразную информацию: от телефонных разговоров до телепередач и цифровых потоков обмена информацией между компьютерами. Серьезность проблемы привела к комплексным решениям, позволяющим «увязывать» передачу разнородной информации в рамках одной радиосистемы. Это методы разделения сигналов по пространству, частоте, по времени, а также кодовое разделение сигналов. Также появилась и постепенно стала доминировать идея полного перехода к цифровым методам передачи.

Применение цифровых методов передачи информации в решающей степени связано с развитием вычислительной техники. Действительно, осуществление функций разделения сигналов, пакетирования информации, ее адресация и обработка после приема требуют значительных вычислительных ресурсов. Применение цифровых методов в персональных коммуникационных системах стало возможным на рубеже 80-90-х гг. XX века с появлением достаточно эффективных сигнальных процессоров и микроконтроллеров.

К этому времени уже появились первые беспроводные сотовые телефонные сети. Сочетание сотовых технологий с цифровыми методами обработки сигналов позволило широко использовать временное и кодовое разделение сигналов, что привело к фантастическому синергетическому результату – сверхмассовому распространению сотовой связи. Возможность реализации мобильной персональной связи для миллиардов людей 20-30 лет назад обсуждалась только писателями-фантастами.

Такая ситуация сложилась с беспроводными коммуникациями в начале XXI века. Кажется, что самые необычные и интригующие возможности уже реализованы, но воображение и потребности не ограничены.

Гармонические колебания в течение длительного времени были основным типом носителя при передаче информации. Однако в последние годы эта ситуация начинает меняться, что связано с развитием сверхширокополосной связи.

К сверхширокополосным (СШП) сигналам относят сигналы с центральной частотой

$F_{ц}$ и полосой ΔF , имеющие относительную полосу $D = \frac{\Delta F}{F_{ц}} > 0.2 \dots 0.25$. В решении

Федеральной комиссии США по связи (ФКС) 2002 г., заложившей основу для лицензируемого использования СШП в средствах беспроводной связи, к сверхширокополосным сигналам относят также сигналы с полосой $\Delta F > 500$ МГц (в диапазоне частот от 3,1 до 10,6 ГГц).

1 Детерминированный хаос

Детерминированный хаос представляет собой сложные непериодические колебания, порождаемые нелинейными динамическими системами. Эти колебания могут возникать при отсутствии внешних шумов и полностью определяются свойствами самой детерминированной динамической системы. Детерминированный хаос обладает многими свойствами случайных процессов: сплошным спектром мощности, экспоненциально спадающей корреляционной функцией, непредсказуемостью на большие интервалы времени. Вместе с тем ему свойственны такие чисто динамические свойства, как чрезвычайно высокая чувствительность к начальным условиям.

Несмотря на то, что работы по использованию хаоса в системах связи проводились еще в 80-годы прошлого века, интенсивные исследования в этом направлении стартовали в начале 90-х годов. Возникший интерес был во многом связан с открытием явлений хаотической синхронизации и хаотического синхронного отклика.

Первые серьезные успехи были связаны с тем, что на первом этапе исследований для ряда модельных схем была продемонстрирована возможность передачи цифровых и аналоговых сообщений с использованием хаотических сигналов. В схеме с нелинейным подмешиванием информационного сигнала в хаотический, передача речевых и музыкальных сигналов, в низкочастотном и в радиодиапазонах была продемонстрирована экспериментально. Разработанные подходы и модели передачи информации с использованием хаотической синхронизации и их экспериментальная проверка заложили основу для дальнейшего развития хаотических коммуникаций.

При построении реальных коммуникационных каналов на основе хаоса, в том числе каналов беспроводной связи, нужно отчетливо понимать, что:

— хаотические системы связи будут применяться только там и только в том

случае, когда они будут иметь совокупность свойств, делающих их конкурентно способными по отношению к другим типам беспроводных систем. В список этих свойств могут входить скорость передачи информации, простота и стоимость системы, устойчивость работы в конкретных условиях, множественный доступ, возможность удовлетворения определенным правилам частотного регулирования и т.д;

— техника передачи информации с помощью хаотических сигналов находится в начальной фазе, и эффективные инженерные решения достаточно ограничены.

С другой стороны с практической точки зрения за кадром долгое время оставался вопрос реализации самих источников хаоса. Неявно предполагалось, что скорость передачи не будет превышать нескольких сотен кбит/сек, а хаос будет использоваться в качестве промежуточного носителя. При этом хаотический сигнал может быть сгенерирован в цифровом виде, а его полоса будет составлять от нескольких мегагерц до нескольких десятков мегагерц. Подобный подход не дает возможности использовать такие, наиболее притягательные свойства хаоса, как широкая полоса и простота устройства связи на основе аналогового хаотического генератора. Именно такого типа преимущества могли бы служить причиной использования систем связи на основе динамического хаоса вместо традиционных систем с регулярными носителями информации.

В 2000 году в ИРЭ РАН была предложена схема прямохаотической радиосвязи. Ключевым понятием предлагаемой технологии является хаотический радиоимпульс. Он представляет собой фрагмент сигнала с длиной, превышающей длину квазипериода хаотических колебаний. Полоса частот хаотического радиоимпульса определяется полосой частоты исходного хаотического сигнала, генерируемого источником хаоса, в широких пределах изменения длины импульса не зависит от его длительности. Это существенно отличает хаотический радиоимпульс от классического, заполненного фрагментом периодической несущей, полосы частот которого определяется его длиной. В основу прямохаотических схем

связи заложены три базовые идеи; - источник хаоса генерирует хаотические колебания непосредственно в заданной полосе СВЧ-диапазона; - ввод информационного сигнала в хаотический осуществляется путем формирования соответствующего потока хаотических радиоимпульсов; - извлечение информации производится из СВЧ- хаотического сигнала без промежуточного преобразования частоты.

Чем же определяется возможность детерминированного хаоса для современных систем связи? Она связана со следующими его свойствами:

- возможностью получения сложных колебаний с помощью простых по структуре устройств;
- возможностью управления хаотическими режимами путем малых изменений параметров системы;
- разнообразием методов ввода информационного сигнала в хаотический;
- возможностью самосинхронизации передатчика и приемника;
- конфиденциальностью при передаче сообщений.

2 СШП-технологии

2.1 Нормативная база СШП СШП связи

Начиная с 2002 г., когда было принято упоминавшееся выше решение ФКС США, в ряде стран проводились аналогичные работы по выделению диапазонов частот для нелицензируемой СШП-связи. С учетом местных условий каждая из стран(или группы стран, например ЕС) формировала свою маску допустимой спектральной плотности электромагнитных сигналов в диапазоне частот 3.1... 10.6 ГГц.

В соответствии с имеющимися тенденциями и ограничениями на спектральную плотность СШП-сигналы в первую очередь будут использоваться в персональных и сенсорных сетях локального типа. При этом дальность действия отдельного устройства будет составлять от единиц до десятков метров.

Важной характеристикой СШП-устройств является пропускная способность канала связи. Потенциально высокая скорость передачи отдельного устройства либо агрегированная скорость передачи совокупности устройств, находящихся на одном участке, является естественным преимуществом СШП-систем перед узкополосными системами. По этому показателю СШП-системы связи можно разделить на три категории: высокоскоростные (от 50 до 500 Мбит/с), среднескоростные (от 1 до 50 Мбит/с) и низкоскоростные (до 1 Мбит/с).

Для высокоскоростных и низкоскоростных систем в 2002 и 2004 гг. соответственно была начата разработка первых стандартов.

В 2002 г. рабочая группа 802.15 американского Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), осуществляющая стандартизацию систем беспроводных коммуникаций для персональных компьютерных сетей, объявила конкурс на предложения по стандарту нового (альтернативного) физического уровня для беспроводных персональных сетей (WPAN –WirelessPersonalAreaNetworks) и беспроводных локальных сетей (WLAN –WirelessLocalAreaNetworks) на основе технологии СШП с высокой пропускной способностью, обеспечиваемой на сравнительно небольших расстояниях (примерно от 5 до 10 м).

В качестве основных критериев при отборе предложений для формирования стандарта рассматривались следующие:

- скорость передачи для отдельного соединения до 500 Мбит/с, высокая пропускная способность (до 1.5 Гбит/с на узле), большое число конечных устройств;
- средняя эффективная изотропно-излучаемая мощность согласно маске ФКС США;
- безопасность передачи данных;
- электромагнитная совместимость ячейки сети (пикосети) по крайней мере с тремя другими ячейками;
- низкий уровень задержек для обеспечения передачи мультимедийной информации в реальном времени, удовлетворение требованиям качества связи (QoS–Quality of Service);
- электромагнитная совместимость с системами WPAN, WLAN и другими системами электросвязи;
- устойчивость в условиях многолучевого распространения (в помещении).

Кроме того, специальная группа разрабатывала модели каналов связи для различных физических реализаций СШП-сетей и возможные конкретные приложения. В процесс разработки стандарта включились практически все ведущие мировые коммуникационные компании. Фактически участвующие в процессе создания стандарта компании разделились на два лагеря, отстаивающих свои принципы формирования физического уровня стандарта.

Работы над созданием новой технологии связи проводили в двух параллельных направлениях:

- первое объединение (получившее название MBOA-UWB –Multi-Band OFDM Alliance– UWB) предлагало разбить выделенный частотный диапазон на поддиапазоны шириной по 528 МГц и использовать OFDM-модуляцию. Предлагаемый подход позволял обеспечить дальность связи до 10 м, в том числе пропускную способность на уровне 480 Мбит/с при дальности связи до 3 м и 110 Мбит/с при

дальности связи до 10 м;

– второе объединение (получившее название DS-UWB –Forum–DirectSequenceUltraWideBandForum) основало свой подход на импульсном решении (форма импульсов согласована с полосой частот) и подразумевает использование двух диапазонов частот: нижнего основного (3.1...4.9 ГГц) и верхнего необязательного для использования (6.2...9.7 ГГц). Каждый из диапазонов имеет относительную полосу =50%. Символ формируется последовательностью от 1 до 24 импульсов. Частота следования импульсов 1320 МГц. Предлагаемый подход позволяет обеспечить скорость передачи 660 Мбит/с на дальности до 3 м и скорость передачи 110 Мбит/с на дальности до 18 м.

В результате трехлетних обсуждений ни один из предложенных рабочей группой IEEE вариантов так и не был стандартизирован (в ходе голосования ни один из вариантов не получил большинства голосов), и после трех лет работы группа самораспустилась. Юридический статус технологии не был зафиксирован. Это, впрочем, не помешало распространению СШП-технологий, и технология MBOA-UWB, к тому моменту уже составившая основу технологии Wireless USB, а затем и Certified WUSB, начала распространяться, в то время как технология DS-UWB была внедрена лишь в некоторых приложениях автомобильной электроники.

В 2004 г. рабочая группа 802.15 американского Института инженеров по электротехнике и электронике объявила конкурс на предложения по стандарту нового (альтернативного) физического уровня для беспроводных персональных сетей на основе технологии СШП с небольшой пропускной способностью каждого отдельного устройства, обеспечиваемой на расстояниях до 30 м.

В качестве основных критериев при отборе новых предложений для формирования стандарта рассматривались следующие:

- скорость передачи для отдельного соединения до 1 Мбит/с, агрегированная пропускная способность в сети до 10 Мбит/с, число конечных устройств в сети – до 10 тысяч;
- средняя эффективная изотропно-излучаемая мощность согласно маске ФКС США;

- безопасность передачи данных;
- электромагнитная совместимость ячейки сети (пикосети) по крайней мере с тремя другими ячейками;
- электромагнитная совместимость с системами WPAN, WLAN и другими системами электросвязи;
- устойчивость в условиях многолучевого распространения (в помещении).

В январе 2005 г. компании и организации внесли более 25 предложений по формированию стандарта. В их числе было совместное предложение от ИРЭ РАН и Института передовых исследований компании Самсунг (SAIT – Samsung Advanced Institute of Technology) использовать в этом стандарте в качестве носителей информации хаотические радиоимпульсы.

Летом 2007 г. стандарт был принят. В качестве основного СШП-решения в нем используются последовательности импульсов, сопряженные с полосами частот порядка 500 МГц. В качестве опциональных решений используются хаотические импульсы и импульсы с линейной частотной модуляцией («chirps»).

СШП беспроводная связь со средними скоростями (от 10 до 50 Мбит) пока не вошла ни в какие разрабатываемые стандарты, хотя у нее также имеются большие перспективы, связанные, в частности, с применением в персональных малогабаритных мобильных приборах – «гаджетах» (беспроводные аудиоплееры, беспроводные видеоочки и т.д.). Специфика применения беспроводной связи в таких устройствах, наряду с достаточно высокими скоростями передачи, требует высокой мобильности и малой потребляемой мощности.

2.2 Перечень СШП-технологий

Приведем перечень СШП беспроводных технологий, который в настоящее время следующий.

Ультракороткие импульсы

Длительность импульсов зависит от используемого диапазона частот, но обычно составляет от 100 до 2000 пс. Свойством этих сигналов являются жесткая связь длительности импульса с шириной спектра мощности и его расположение на частотной оси: спектр мощности простирается от нуля до частоты

$$f \approx \frac{1}{T},$$

где T – длина ультракороткого импульса (рисунок 1). База сигнала $B \approx 1$.

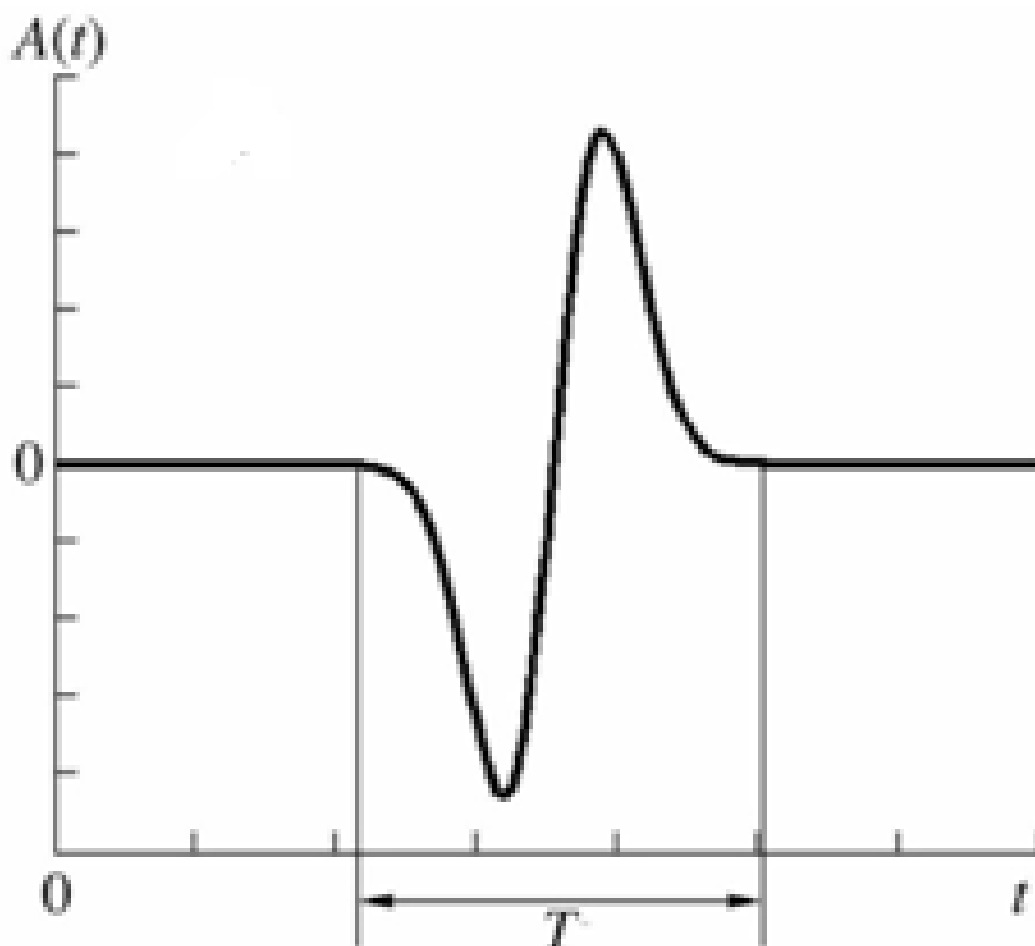


Рисунок 1 – Ультракороткий импульс длительностью T

Короткие радиоимпульсы– цуги колебаний

В рамках данного подхода сигнал формируется в заданной полосе частот. Как и в случае ультракоротких импульсов, имеет место жесткая связь между длиной импульса и спектром мощности сигнала. Для получения более равномерной спектральной плотности в полосе частот форму огибающей импульса выбирают колоколообразной (рисунок 2). База сигнала $B \approx 1$.

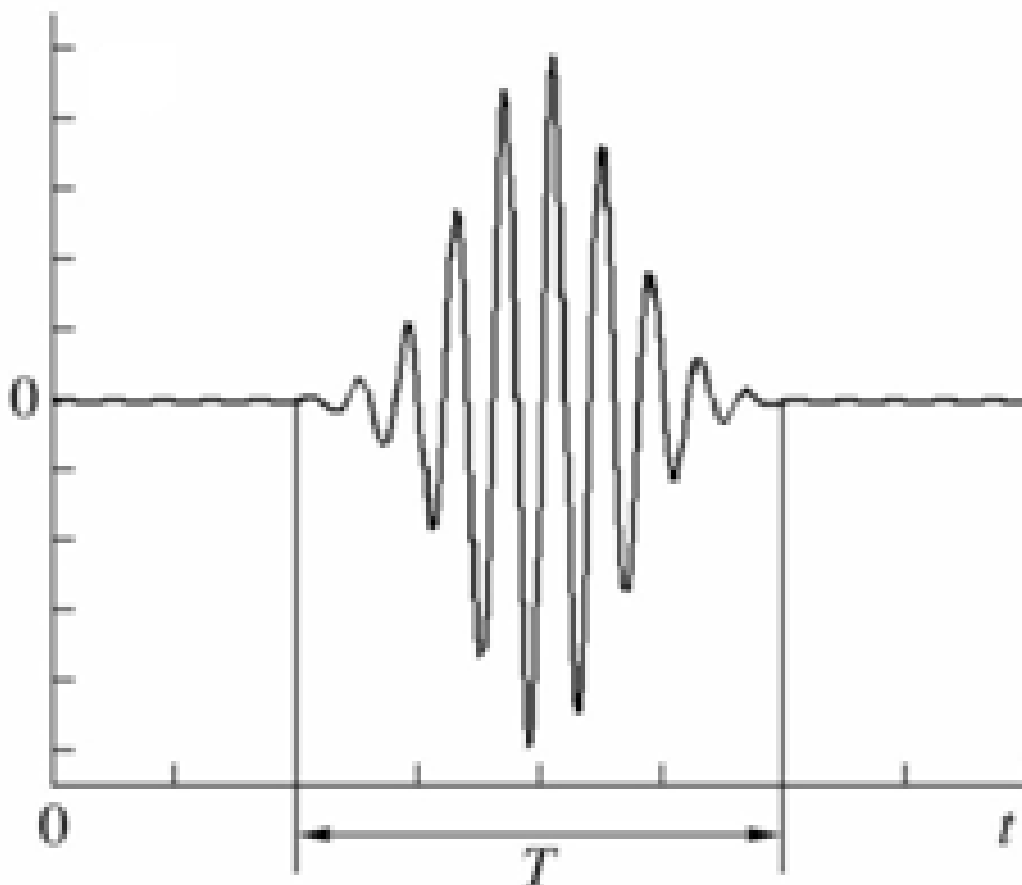


Рисунок 2 – Короткий импульс, сформированный из фрагмента гармонического сигнала длительностью T с гауссовской огибающей

Хаотические радиоимпульсы

Огибающая спектра мощности у этих сигналов определяется исходным спектром непрерывного хаотического сигнала и при выполнении определенных условий практически не зависит от длины импульсов (рисунок 3). База сигнала может меняться в широких пределах.

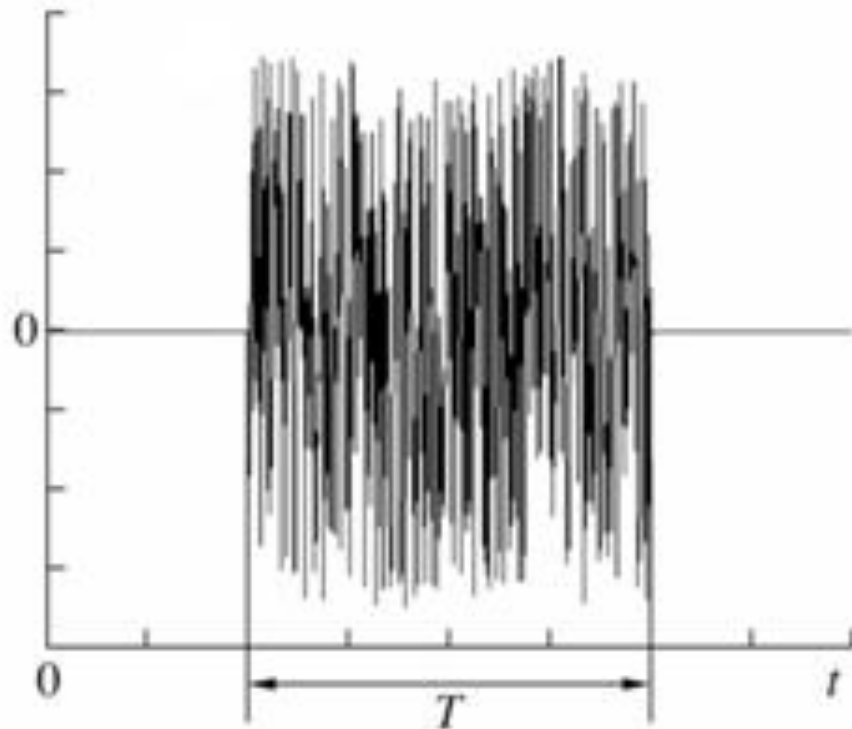


Рисунок 3 – Хаотический радиоимпульс длительностью T

Пачки коротких импульсов

Как и в случае единичного короткого импульса, форма одинаковых импульсов согласуется с заданной полосой частот (рисунок 4). База сигнала пропорциональна числу импульсов в пачке.

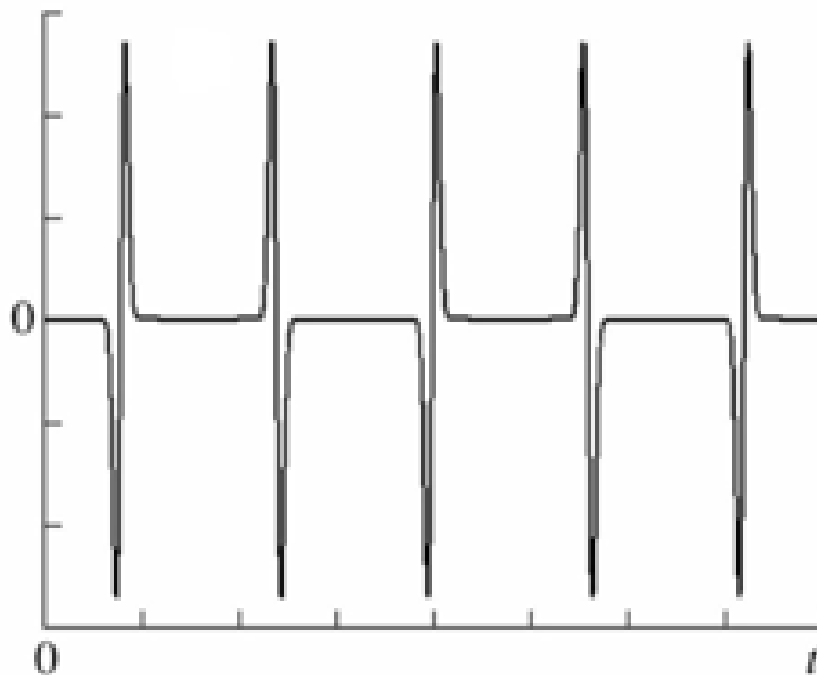


Рисунок 4 – Пачка из ультракоротких импульсов

Сигналы с прямым расширением спектра

Это решение предполагает «нарезку» синусоидального сигнала на очень короткие фрагменты – «чипы». Для передачи одного бита используется серия «чипов». В пределе при использовании одного «чипа» для передачи одного бита данный метод совпадает с методом формирования ультракоротких импульсов. База сигнала равна числу «чипов», используемых для передачи одного бита информации.

Сигналы с ортогонально-частотным мультиплексированием (OFDM)

Этот тип сигналов давно и успешно применяется в радиосвязи (рисунок 5). Особенностью его использования в СШП-системах является большая ширина спектра (приблизительно 500 МГц) по сравнению с OFDM-сигналами, применяемыми ранее.

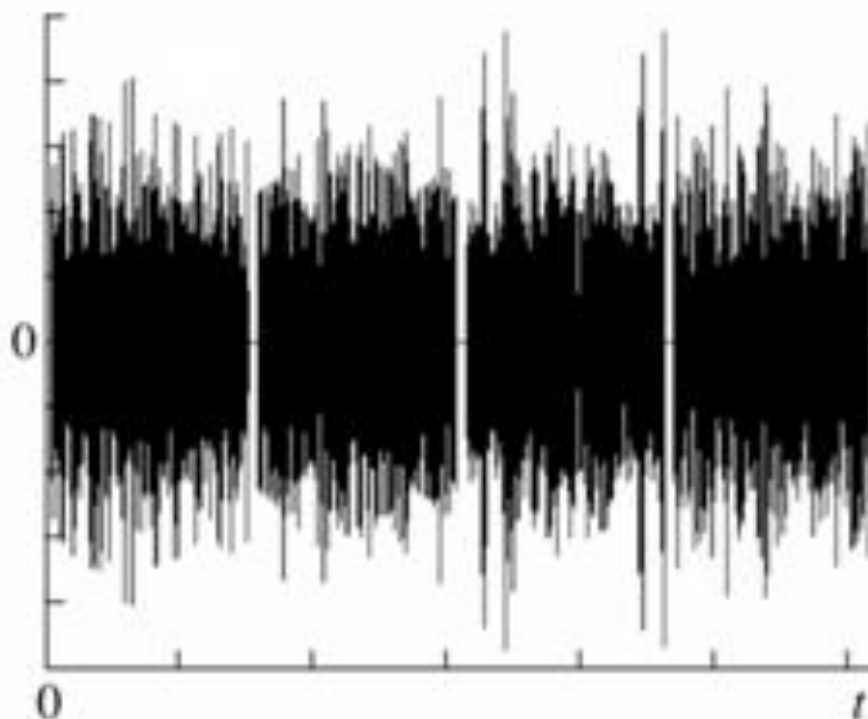


Рисунок 5 – Сигнал с ортогонально-частотным мультиплексированием

Сверхширокополосные сигналы на основе частотной модуляции (FM UWB)

Эти сигналы формируются за счет сканирования частоты в генераторах, управляемых напряжением (рисунок 6). При однократном проходе частоты в пределах импульса база сигнала пропорциональна длине импульса. Скорость перестройки определяет минимальную длину импульса, на которой происходит полная перестройка частоты.

В этом случае база сигнала равна

$$B = \Delta T \cdot \Delta F ,$$

где ΔT – длина импульса; ΔF – полоса частот перестройки.

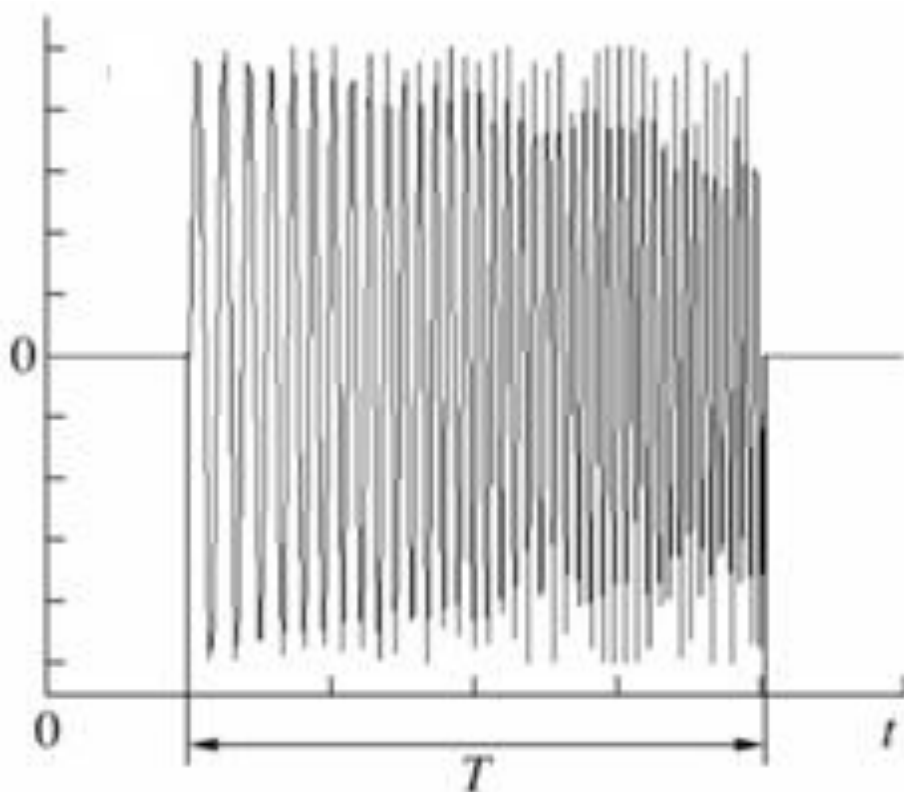


Рисунок 6 – Линейно-частотно модулированный импульс длительностью T

2.3 Необходимость применения СШП-сигналов

Хаотические сигналы, называемые также в различной литературе шумоподобными, получили применение в широкополосных системах связи, так как:

- обеспечивают высокую помехозащищенность систем связи;

- позволяют организовать одновременную работу многих абонентов в общей полосе частот при асинхронно-адресном принципе работы системы связи, основанном на кодовом разделении абонентов;
- позволяют успешно бороться с многолучевым распространением радиоволн путем разделения лучей;
- обеспечивают совместимость передачи информации с измерением параметров движения объекта в системах подвижной связи;
- обеспечивают ЭМС- электро-магнитную совместимость широкополосных систем связи с узкополосными системами, системами ТВ-вещания;
- обеспечивают лучшее использование спектра частот на ограниченной территории по сравнению с узкополосными системами связи

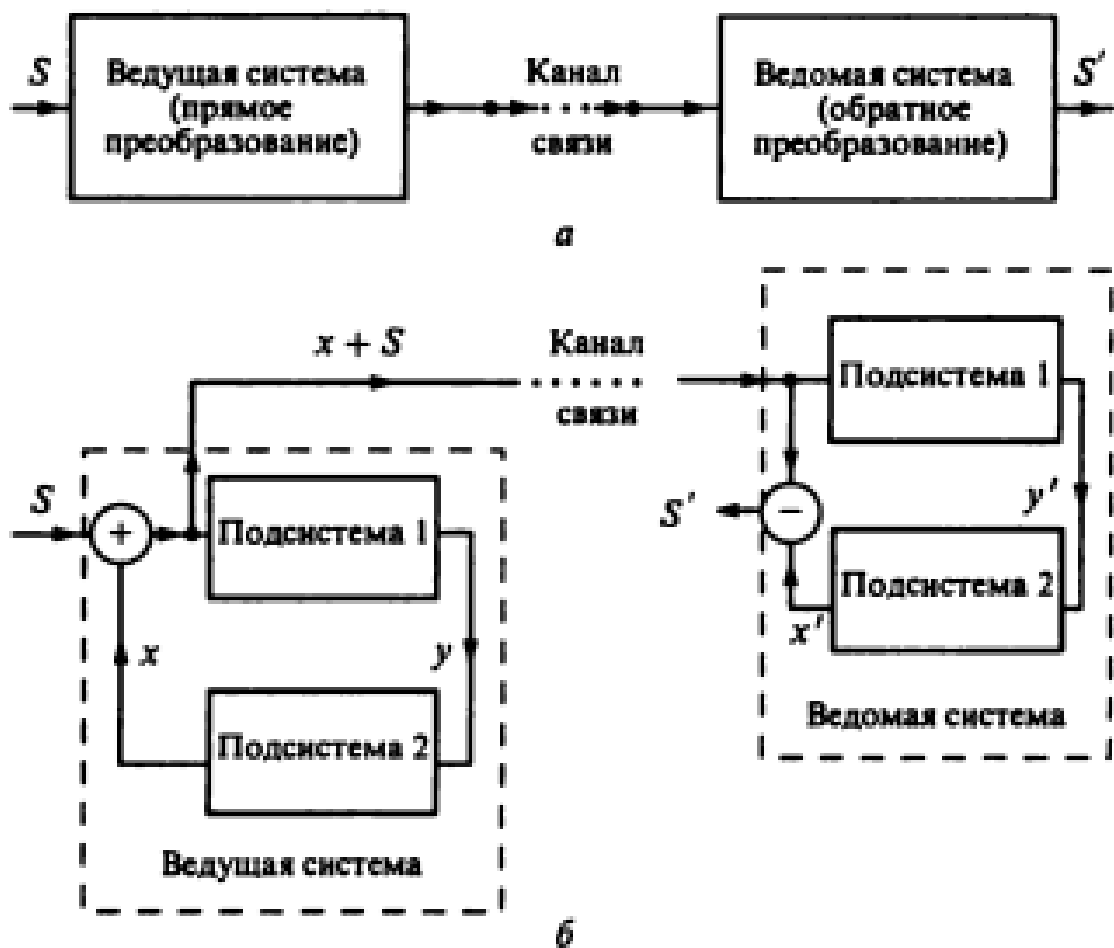
3 Хаотические сигналы в системах связи

3.1 Нелинейное подмешивание информационного сигнала к хаотическому

Особенностью подхода является то, что информационный сигнал непосредственно вводится в ведущую систему и, таким образом, участвует в формировании ее выходного сигнала. Являясь нелинейной системой, она «перемалывает» информационный сигнал наряду со своим собственным хаотическим сигналом, поэтому данный способ введения информации нельзя назвать ни аддитивным наложением, ни стандартной модуляцией. Извлечение полезного сигнала на приемном конце связано с использованием в ведомой системе обратного по отношению к ведущей системе преобразования.

На сегодняшний день среди возможных взаимобратных преобразований предложено использовать лишь несколько пар операций: сложение-вычитание, деление-умножение, сложение по модулю с основанием 2, а также преобразование напряжение-ток. Однако наиболее широкое распространение получил системы, использующие операции сложение-вычитание

В них информационный сигнал S добавляется (подмешивается) к хаотическому сигналу x (рисунок 7 б) и, таким образом, участвует в формировании сложного поведения системы. Такой ввод информации получил название «нелинейное подмешивание информационного сигнала в хаотическом;»



а) общая блок-схема;

б) схема, использующая операции сложение-вычитание

Рисунок 7-Нелинейное подмешивание информационного сигнала к хаотическому

3.2 Реализация схемы с нелинейным подмешиванием на двух отдельных сигнальных процессорах.

Блок-схема экспериментального макета представлена на рисунке 8

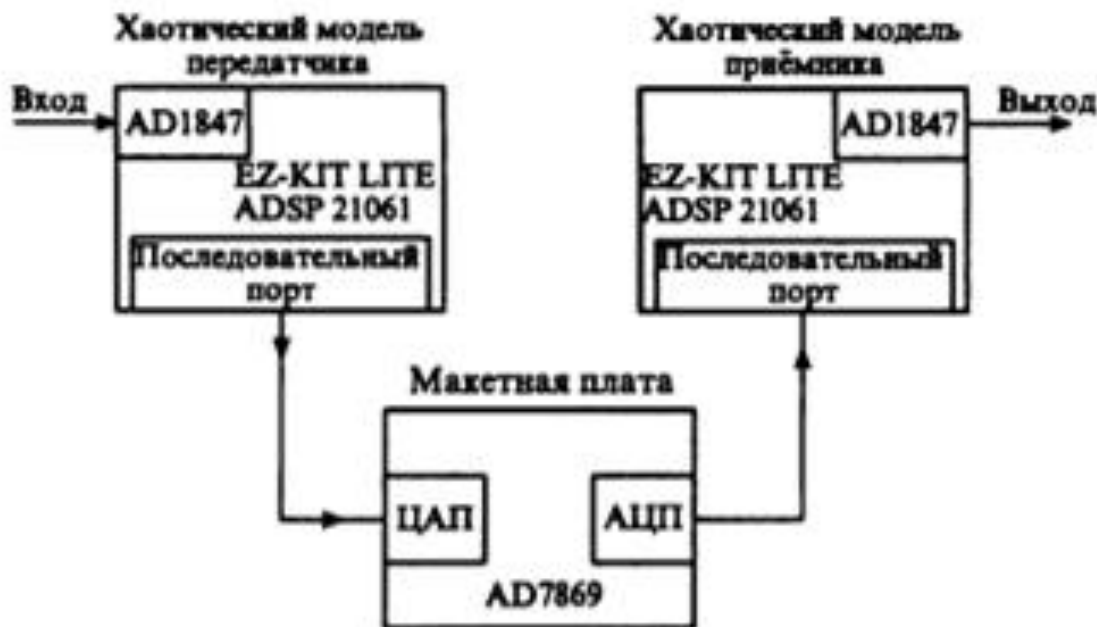


Рисунок 8– Блок-схема эксперимента с двумя сигнальными процессорами

Он состоял из трех основных блоков: платы с процессором (ADSP-21061), выполняющей функцию хаотического модуля передатчика и макетной платы, содержащей ИС кодека и некоторых служебных устройств, предназначенных для обеспечения питания, усиления цифрового сигнала и фильтрации шумов в цепи. Схема функционировала следующим образом. Информационный аналоговый (речевой) сигнал оцифровывался на плате модуля передатчика с помощью кодека AD1847, встроенного в используемую плату EZ-KIT LITE, и подмешивался к хаотическому сигналу модуля, полученного с помощью ЦСП. Результирующий сигнал поступал на ЦАП кодека, на выходе которого формировался с выхода АЦП оцифрованный сигнал поступал на плату хаотического модуля приемника, где происходило декодирование речевого сигнала и последующее преобразование его к аналоговому виду. На входе модуля передатчика и выходе модуля приемника

размещались акустические системы для определения на слух качества передачи (субъективный контроль), а также измерительные приборы (осциллограф, анализатор спектра) для объективной регистрации характеристик сигналов.

3.3 Хаотический отклик

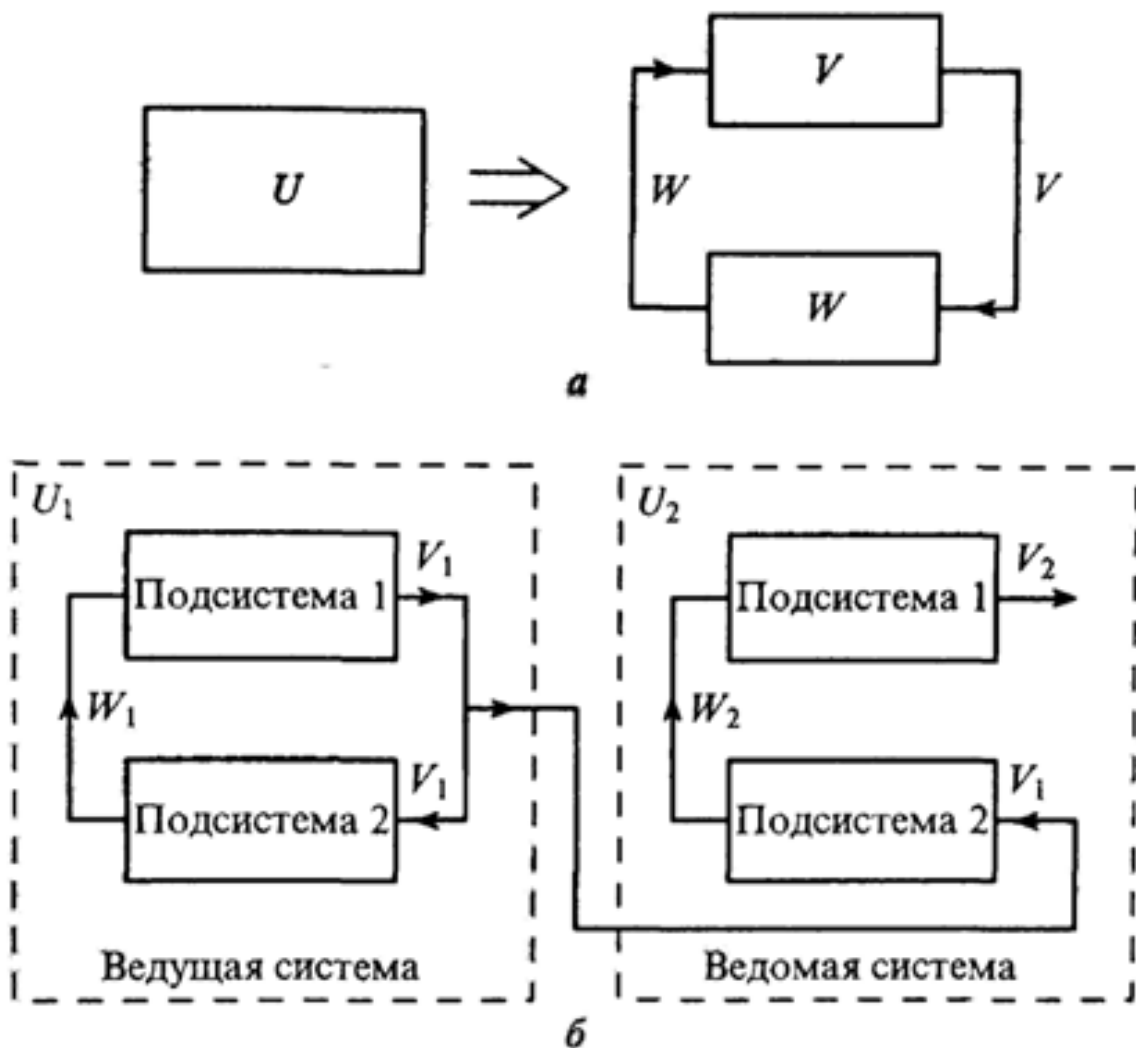
В 1990 г. был предложен метод синхронизации хаотических систем, полученных в результате декомпозиции. Суть метода в следующем. Пусть существует исходная автоколебательная система

$$\frac{dU}{dt} = f(U).$$

Графически декомпозицию (разделение) исходной системы можно отразить схемой, изображенной на рисунок 9 а. Как видно из рисунка, в результате декомпозиции автоколебательная система (АКС) обретает вид кольцевой структуры, в которой подсистемы образуют единое кольцо обратной связи.

На следующем шаге берут две идентичные системы, полученные в результате одинаковой декомпозиции. Одну из систем оставляют в виде, представленном на рисунок 9 а. Таким образом, эта система является активной (автоколебательной) и в дальнейшем будет называться «ведущей» системой. В другой системе кольцо обратной связи разрывают, в результате чего она становится пассивной (не автоколебательной) системой. Такую систему называют «ведомой».

Если теперь сигнал с выхода одной из подсистем (например, подсистемы 1) $V_1(t)$ ведущей системы подать на вход другой подсистемы (подсистемы 2) ведомой системы? то при определенных условиях разность между входным $V_1(t)$ и выходным $V_2(t)$ сигналами в ведомой (разомкнутой) системе будет стремиться к нулю $|V_1(t) - V_2(t)| \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Таким образом, с помощью декомпозиции возможно формирование пары систем («ведущая ведомая»), в которой при одностороннем воздействии со стороны ведущей системы ведомая асимптотически повторяет поведение ведущей системы.



- а) декомпозиция исходной автоколебательной системы;
 б) формирование пары систем «ведущая-ведомая».

Рисунок 9 - Декомпозиция автоколебательной системы и формирования на ее основе «ведущей-ведомой» системы

В различной литературе этот эффект называют «хаотической синхронизацией» либо «хаотический синхронный отклик». При хаотической маскировке информационный сигнал аддитивно подмешивается к хаотическому сигналу x на выходе ведущей системы, после чего результирующий сигнал $x + S$ передается в канал связи и далее на вход ведомой системы. В общем случае в канале связи к результирующему сигналу может аддитивно добавляться шум канала w . Тогда на вход ведомой системы поступает сигнал $x + S + w$.

По существу, рисунок 10 представляет собой схему синхронизации ведущей-ведомой хаотической системы под воздействием возмущающего фактора, функцию которого выполняет информационный сигнал S . Поэтому, если S (а также w) достаточно мал по отношению к x , то на выходе ведомой системы формируется синхронный хаотический отклик. В этом случае информационный сигнал S может быть извлечен путем вычитания выходного сигнала ведомой системы x из сигнала на ее входе при условии $|w| \leq |s|$

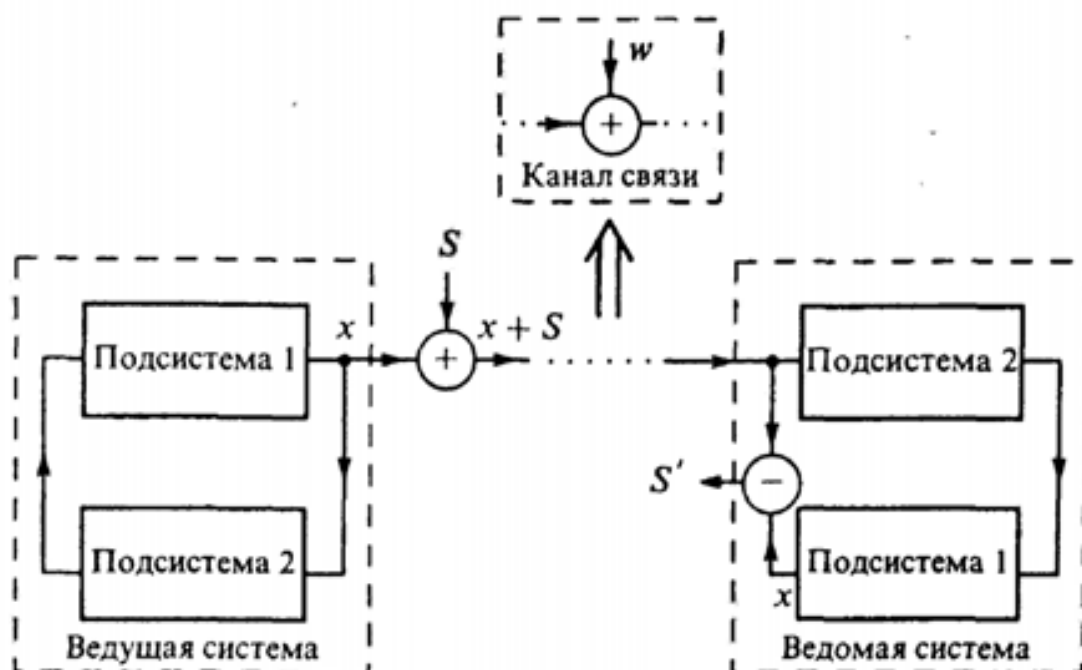


Рисунок 10-Хаотическая маскировка. Блок схема

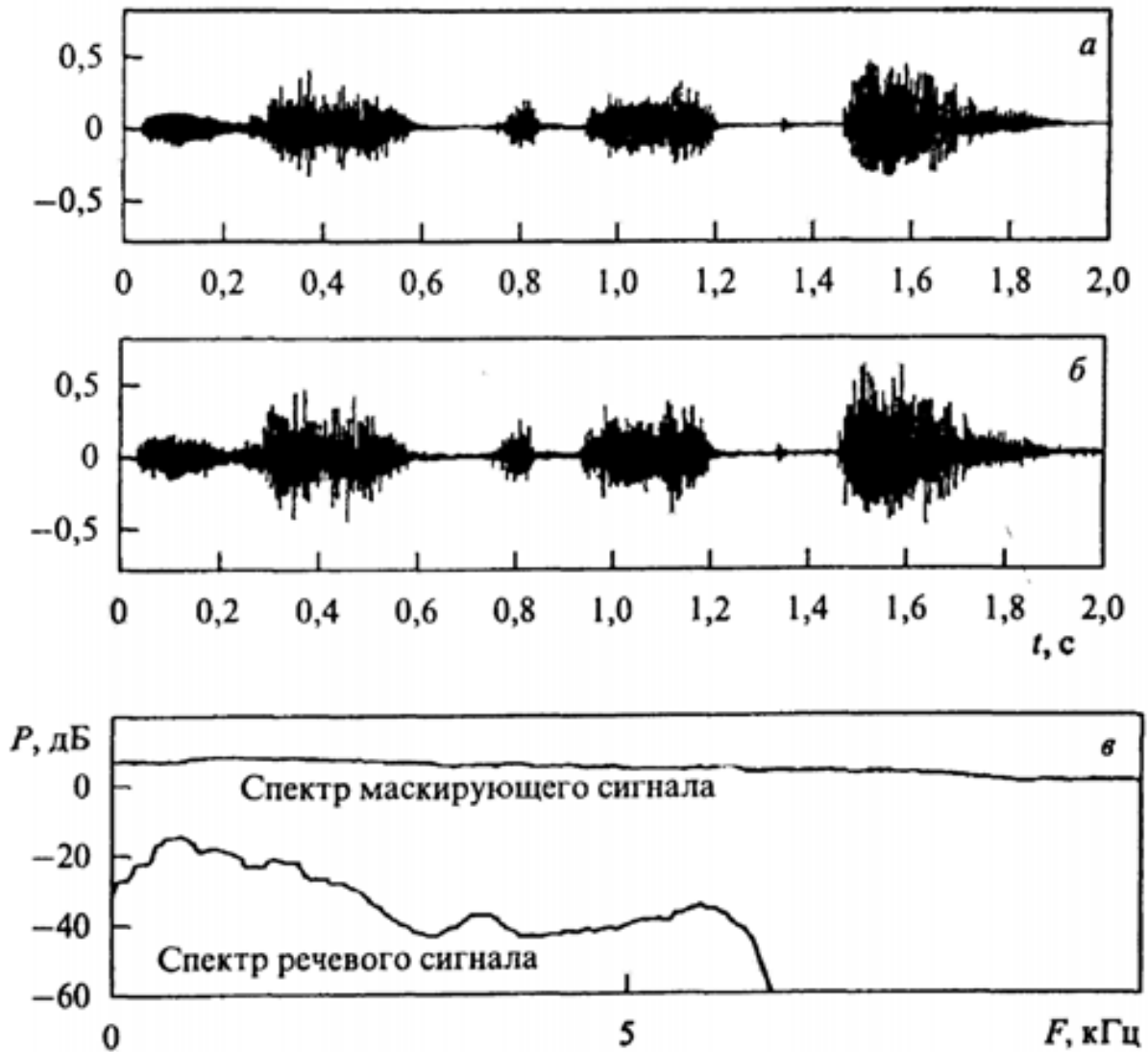
На рисунке 10 используются следующие обозначения:

X - хаотический сигнал;

S - информационный сигнал;

S' - оценка информационного сигнала на выходе ведомой системы ;

w - шум в канале связи.



- а) исходный речевой сигнал;
- б) сигнал на выходе ведомой системы;
- в) спектры мощности речевого и маскирующего хаотического сигнала.

Рисунок 11 -Хаотическая маскировка. Передача речевого сигнала

Точность оценки извлеченной информации S по отношению к передаваемому исходному сообщению S зависит от многих факторов. К ним относится степень идентичности ведущей и ведомой систем, а также уровень внешнего шума w в канале.

В случае идентичности систем и отсутствия шума в канале для качественной передачи необходимо превышение мощности маскирующего хаотического сигнала над информационным на величины от 35 до 65 дБ. Причина столь жестких требований на отношение сигнал/хаос, заключается в нарушении условий синхронизации ведущей и ведомой систем в результате возмущений опорного хаотического сигнала информационной компонентой и, как следствие, появлении шумов десинхронизации на выходе ведомой системы. В качестве примера, рисунок 11 демонстрирует передачу речевой информации при использовании хаотической маскировки в ведущей-ведомой системе на основе системы Лоренца .

3.4 Оценка качества передачи информации

Неидеальность (десинхронизация) хаотического отклика ведет к появлению на выходе приемника шума рассинхронизации. Этот шум является основной причиной ухудшения качества принимаемого сигнала. Поэтому для оценки качества передачи мы используем величину отношения мощности информационного сигнала на выходе приемника P_s к мощности шума рассинхронизации $P_{\Delta N}$, определяемого по формуле

$$\frac{C}{\text{Ш}} = \frac{P_s}{P_{\Delta N}}.$$

Вместо абсолютной мощности шума рассинхронизации удобно рассматривать ее относительную мощность

$$\eta = \frac{P_{\Delta N}}{P_N}.$$

Тогда отношение C/Ш может быть выражено через μ и η

$$\frac{C}{\text{Ш}} = \frac{P_s}{P_{\Delta N}} = \frac{P_s}{P_N} \frac{P_N}{P_{\Delta N}} = \frac{\mu}{\eta}.$$

В идеальном случае полного совпадения параметров передатчика и приемника и отсутствия искажений в канале связи $\eta = 0$ и $C/\text{Ш} \rightarrow \infty$. В реальной ситуации η всегда отлична от нуля и характеризует степень искажений передаваемого сигнала. Например, если относительная мощность информационного сигнала $\mu = 10^{-2}$ а относительная мощность шума рассинхронизации

3.5 Принципиальная схема системы связи

На рисунке 12 представлена принципиальная схема передатчика.

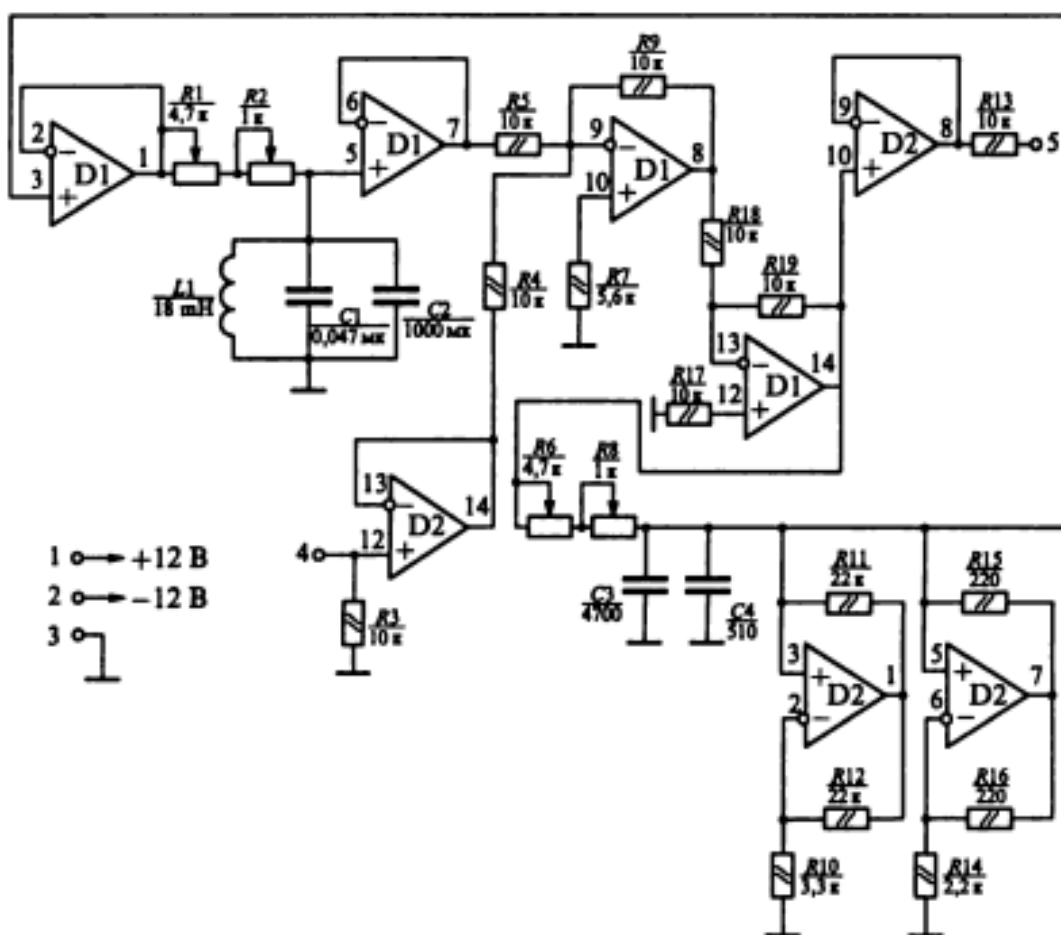


Рисунок 12– Принципиальная схема передатчика

Функции всех использованных с ней операционных усилителей (D1, D2) выполняли две микросхемы К1401УД2Б. Нелинейный элемент NH был реализован на двух усилителях в сочетании с сопротивлениями R10-R11-R12-R14-R15-R16 по схеме. Такая конструкция обеспечивала трехсегментную характеристику элемента со следующими параметрами:

$$G_a = -0,757 \text{ мСм}, G_b = -0,459 \text{ мОм}, E = 1,56 \text{ В.}$$

Информационный сигнал поступал на вход 4, а смесь хаотического сигнала с информационным подавалась в канал связи с выхода 5. Модификация генератора в приемник осуществлялась путем ввода в кольцо обратной связи между нелинейным элементом и фильтром нижних частот вычитающего устройства. Сигнал из канала связи поступал на один из входов вычитателя и одновременно на вход нелинейного элемента, пройдя через который, а также через полосовой фильтр и фильтр нижних частот, поступал на второй вход вычитателя. В отличие от сумматора вычитающее устройство разрывает цепь обратной связи, поэтому в автономном режиме приемник является пассивной системой.

На рисунке 13 представлена принципиальная схема приемника.

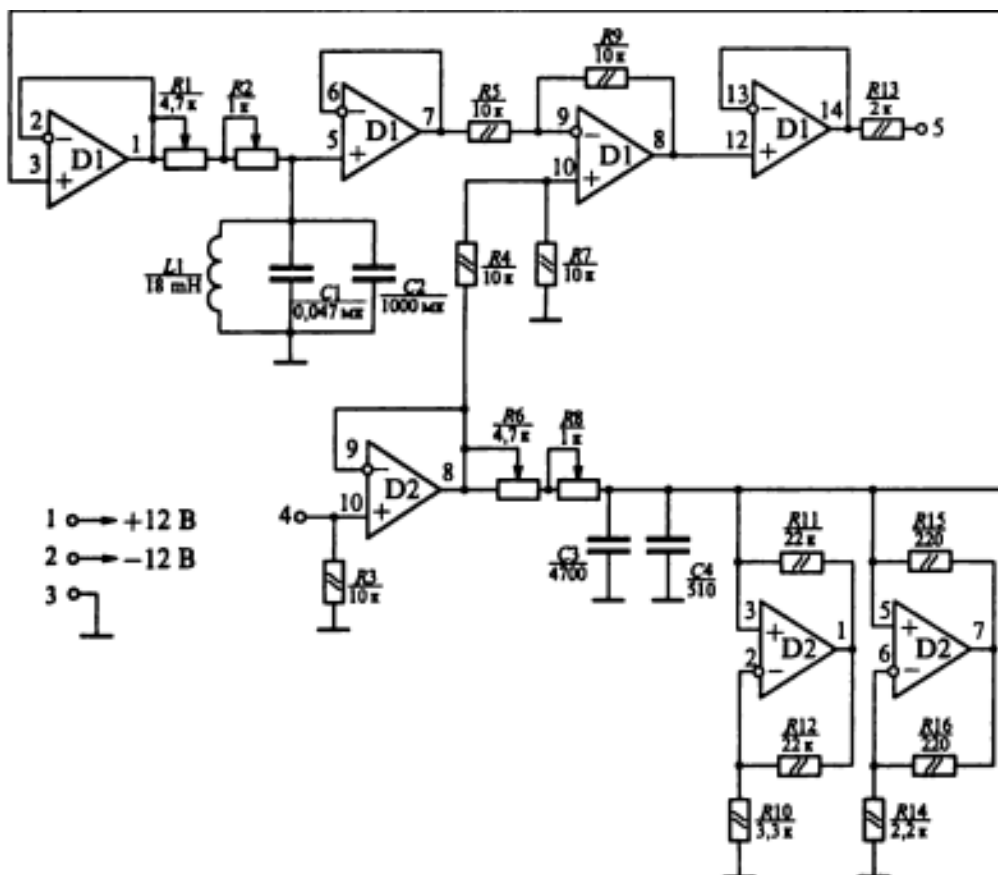


Рисунок 13 – Принципиальная схема приемника

Использованные в ней микросхемы, а также обозначения элементов аналогичны рассмотренному выше случаю рисунок 7 Хаотический сигнал из канала связи поступал на вход 4, а выделенный информационный сигнал в виде музыкального или речевого на один из входов сумматора в передатчике. Соответственно сигнал с выхода вычитателя в приемнике поступал на акустическую систему и прослушивался в реальном времени. Экспериментальная установка позволяла снимать осциллограммы и спектры мощности в любых точках макета системы, а при необходимости прослушивать сигналы, проходящие через них. Передатчик системы в автономном режиме обеспечивал генерацию хаотических колебаний в диапазоне частот от 0 до 5 кГц.

Среднее отношение амплитуд информационного сигнала и сигнала на выходе полосового фильтра составило приблизительно $1/8$ ($\mu = 2 \cdot 10^{-2}$). Разброс параметров передатчика и приемника не выходил за пределы 0,5%, что позволяло получить качество хаотического синхронного отклика на уровне η примерно равен $9 \cdot 10^{-4}$

4 СШП-хаотические сигналы в системах связи

4.1 Принципы построения систем связи на основе хаотических сигналов

Широкополосными системами связи на основе хаотических сигналов являются такие, которые используют хаотические сигналы в качестве переносчиков информации и у которых ширина спектра хаотического сигнала много больше ширины спектра передаваемого сообщения. Широкополосные системы связи характеризуются высокой помехоустойчивостью при действии помех с ограниченной мощностью. Помехоустойчивость определяется отношением сигнал-помеха h^2 на входе решающего устройства приемника, которое при воздействии флуктуационной помехи равно $h^2 = E/N_n$, где E – энергия сигнала, N_n – спектральная плотность мощности помехи в виде «белого» шума. Отношение сигнал-помеха h^2 в общем виде не зависит от свойства сигнала, в том числе и от его ширины спектра. Но при воздействии флуктуационной помехи с ограниченной мощностью P_n и действующей в полосе частот сигнала шириной F ее спектральная плотность $N_n = P_n/F$, отсюда следует, что чем шире спектр хаотического сигнала будет, тем меньше спектральная плотность помехи, тем выше отношение сигнал-помеха h^2 и тем выше будет помехоустойчивость широкополосной системы связи. В свою очередь энергия сигнала $E = P_c T$. Подставляя приведенные соотношения и обозначая отношение мощности сигнала к мощности помехи на входе приемника через $p^2 = P_c/P_n$, получаем $h^2 = p^2 V$. Если отношение мощностей на входе приемника $p^2 \leq 1$, то выбором базы хаотического сигнала, при котором $V \geq 1$ и $p^2 V \geq 1$, всегда можно получить $h^2 \geq 1$, что и обеспечивает высокую помехоустойчивость широкополосных систем связи при действии мощных помех с $P_n \geq P_c$.

Передача и прием непрерывных сообщений (например, телефонных) с помощью хаотических сигналов возможны путем применения дискретных или аналоговых методов модуляции. При дискретных методах модуляции непрерывное сообщение дискретизируется по времени, затем превращается или в последовательность импульсов с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ), или в последовательность импульсов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), или в

импульсную кодово-модулированную последовательность (ИКМ). Далее импульсы соответствующих последовательностей с помощью модуляторов превращаются в хаотические сигналы (по другой терминологии в ШПС – шумоподобные сигналы в дальнейшем, будем иногда использовать данное сокращение). Поэтому возможны АИМ-ШПС, ШИМ-ШПС, ИКМ-ШПС, а также и другие методы модуляции. В случае АИМ-ШПС из-за амплитудной модуляции плохо используется мощность передатчика, поэтому такой метод модуляции обычно не применяют. При ИКМ-ШПС необходимо расширить полосу частот, что вызывает дополнительные ошибки квантования.

В тоже время при ШИМ-ШПС:

- полностью используется мощность передатчика;
- не возникают ошибки квантования;
- нет необходимости в дополнительном расширении спектра;

Это создает определенные преимущества ШИМ-ШПС перед другими дискретными методами модуляции непрерывных сообщений.

Вместе с тем ИКМ-ШПС позволяет более полно использовать цифровую технику при формировании и обработке хаотических сигналов.

При передаче непрерывных сообщений с помощью аналоговых методов модуляции в основном используется только частотная модуляция (ЧМ), поскольку она обеспечивает выигрыш в помехоустойчивости при отношениях сигнал-помеха на входе больше порогового значения. Преобразовав непрерывное сообщение в ЧМ колебание, можно затем произвести дополнительную модуляцию с помощью хаотических сигналов, в результате чего получается колебание ЧМ-ШПС.

Оба вида модуляции (ШИМ-ШПС ЧМ-ШПС) известны давно.

На рисунке 14 изображены структурные схемы передатчика и приемника ШИМ-ШПС

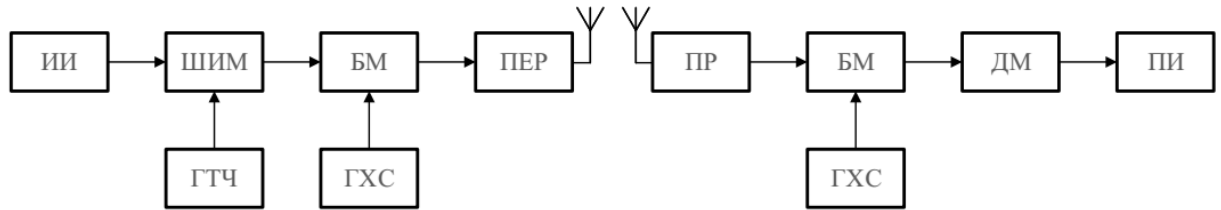


Рисунок 14 - Структурные схемы передатчика и приемника ШИМ-ШПС

В передатчике (рисунок 14 а) непрерывное сообщение от источника информации (ИИ) поступает на широтно-импульсный модулятор (ШИМ), который управляется генератором тактовой частоты (ГТЧ). ШИМ колебание подается на балансный модулятор (БМ), который выполняет функции перемножителя. На второй вход балансного модулятора подается хаотический сигнал в виде фазоманипулированного сигнала(ФМ) от генератора хаотических сигналов (ГХС). В мощных каскадах передатчика (ПЕР) производится перенос ШИМ-ШПС на несущую частоту и усиление по мощности, а затем сигнал излучается в пространство. Сигнал, поступающий на вход приемника (ПР) (рисунок 14 б) усиливается в первых каскадах ПР и поступает на вход БМ, который выполняет функцию перемножителя. На второй вход балансного модулятора поступает хаотический сигнал от ГХС. Затем ШИМ колебание (без хаотического сигнала) подается на широтно-импульсный демодулятор (ДМ), с выхода которого сообщение направляется получателю информации (ПИ).

Широтно-импульсный демодулятор состоит из интегратора(время интегрирования равно длительности хаотического сигнала T), преобразователя ШИМ-АИМ и фильтра нижних частот (ФНЧ)

На рисунке 15 изображены структурные схемы передатчика и приемника ЧМ-ШПС.

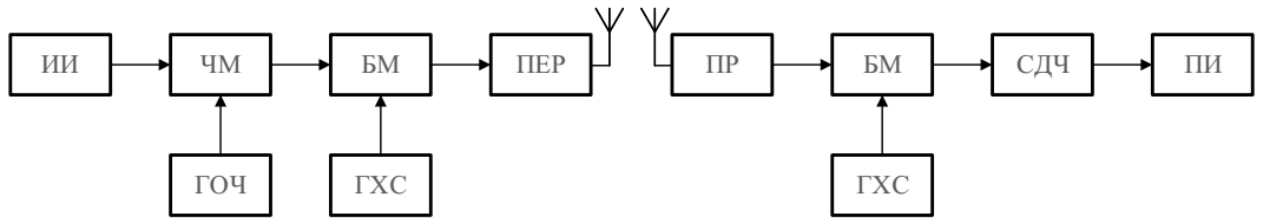


Рисунок 15- Структурные схемы передатчика и приемника ЧМ-ШПС

В передатчике (рисунок 15 а) непрерывное сообщение от источника информации (ИИ) поступает на частотный модулятор (ЧМ), на вход которого поступает немодулированное колебание от генератора опорной частоты (ГОЧ). Затем ЧМ сигнал поступает на вход БМ, который выполняет функции перемножителя. На второй вход БМ поступает ФМ сигнал от ГХС. В мощных каскадах ПЕР производится усиление ЧМ-ШПС, перенос его на несущую частоту, после чего он излучается в пространство.

В первых каскадах ПР (рисунок 15 б) производится усиление принятого сигнала, перенос его на промежуточную частоту. Затем ЧМ-ШПС поступает на вход БМ, на второй вход которого подается хаотический сигнал от ГХС. Балансный модулятор выполняет функцию перемножителя. При синхронизации ГХС с принятым хаотическим сигналом в балансном модуляторе производится демодуляция хаотического сигнала и на стандартный частотный детектор (СЧД) поступает ЧМ сигнал, освобожденный от хаотического сигнала. Стандартный частотный детектор состоит из усилителя промежуточной частоты (УПЧ), амплитудного ограничителя с полосовым фильтром, частотного дискриминатора, ФНЧ. Полоса пропускания УПЧ должна равняться ширине спектра ЧМ сигнала. Граничная частота ФНЧ равна верхней частоте сообщения W . Характеристики всех каскадов приемника предполагаются идеальными. Демодулированное сообщение с выхода СЧД направляется получателю информации.

4.2 Структура приемопередатчика на СШП хаотических сигналах

На рисунке 16 представлена структурная схема приемопередатчиков на СШП хаотических сигналах.



Рисунок 16 – Структурная схема СШП-прямохаотического приемопередатчика

Ее можно разделить на радиочастотную часть (РЧ) и цифровую часть. К РЧ относятся приемник, генератор с модулятором и СВЧ-переключатель. Модулятор представляет собой электронный ключ, который подает питание на генератор и обеспечивает необходимое напряжение на его входе. В состав приемника входят малошумящий усилитель и логарифмический детектор. Необходимость в СВЧ-переключателе связана с тем, что прием и передача осуществляются в одном диапазоне и посредством одной приемопередающей антенны. В тот момент, когда осуществляется передача, ключ находится в таком положении, при котором обеспечивается коммутация выхода генератора со входом антенны, причем в канал приемника СВЧ-сигнал не попадает, а во время приема, наоборот. Таким образом, СВЧ-переключатель осуществляет развязку между приемником и генератором. Функцию управления ключом выполняет программируемая логическая инте-

гральная схема (ПЛИС). Кроме того, она осуществляет предварительную обработку импульсов, полученных от приемника, а также формирование импульсов нужной длины и скважности для передачи. Поскольку ПЛИС работает исключительно с цифровыми сигналами, то для преобразования аналоговых импульсов в цифровые используется компаратор. Пороговое напряжение компаратора задается цифроаналоговым преобразователем (ЦАП), управляемым микроконтроллером (МК). Стабилизатор трансформирует напряжение питания от батареи в 3,3В. Стабилизатор управляется МК и обеспечивает включение/выключение ПЛИС. Кварцевый генератор задает тактовую частоту ПЛИС. Микроконтроллер координирует работу всего приемопередатчика. Кроме управления ЦАП (т.е. задания порогового напряжения компаратора), МК в соответствии с загруженной программой активизирует режимы приема, передачи информации, режим ожидания, содержит информацию, необходимую для работы устройства в сети, включает в себя интерфейсы связи с внешними устройствами

4.3 Эффект многолучевого усиления в системе с СШП хаотическими радиоимпульсами

В канале с многолучевым распространением, сигнал приходит в приёмник по нескольким путям с различных направлений, с различными задержками и степенями затухания. В приёмнике эти сигналы суммируются. В традиционных коммуникационных системах с узкополосными несущими это приводит к двум основным эффектам, свойственным каналам с многолучевым распространением: замиранию сигнала и межсимвольной интерференции. Рассмотрим эти факторы в системе с СШП хаотическими радиоимпульсами.

Замирание сигнала. В случае использования СШП хаотической несущей сигналы, пришедшие в приёмник по различным путям некоррелированы. Это свойство хаотического (так же как и случайного или псевдошумового) сигнала: время автокорреляции τ хаотического сигнала обратно пропорционально его полосе, так что для сигнала с полосой 2 ГГц τ примерно равно 0.5 нс. Таким образом, сигналы, пришедшие в приёмник с задержками друг относительно друга

более чем τ , являются некоррелированными и суммируются не по амплитуде, а по мощности. Это означает, что сигналы, пришедшие по различным путям, всегда способствуют увеличению энергии в приёмнике.

Поэтому, в случае СШП хаотических сигналов, дополнительные лучи увеличивают уровень сигнала в приёмнике.

Многолучевое распространения – межсимвольная интерференция. Часто используемый приём для подавления этого эффекта в системе с импульсным сигналом заключается в ведении защитного интервала, достаточно большого для того, чтобы исключить попадание лучей, приходящих с задержкой, на позицию следующего информационного символа. (Предполагается, что приёмник выключается на интервалах времени, соответствующих защитному интервалу.)

В каналах с «сильной» многолучевостью, т.е. в каналах, чья импульсная характеристика характеризуется большим количеством лучей с большими запаздываниями, и чья длительность отклика сравнима или больше, чем длительность импульса, форма принимаемого сигнала значительно искажается. В этом случае корреляционный приём становится неэффективным. Считается, что в этом случае некогерентный приём (детектор огибающей) более предпочтителен.

Таким образом, среда с многолучевым распространением может действовать как усилитель, т.е. энергия хаотических радиоимпульсов на входе приёмника может быть существенно увеличена. Для проявления этого эффекта должны выполняться следующие условия:

– длительность радиоимпульса должна быть больше, чем время автокорреляции τ хаотического сигнала;

– время задержки в канале с многолучевым распространением должно быть больше, чем время автокорреляции τ

Если эти условия выполняются, то, по меньшей мере, для нескольких лучей времена прихода некоррелированы, и, таким образом, их энергия будет суммироваться.

Другое (техническое) условие заключается в следующем:

- длительность импульса должна быть как можно большей с точки зрения скорости передачи данных, энергии на бит и т.д.

Поэтому, если длительность радиоимпульса достаточно велика (сравнима с длительностью отклика канала), большая часть энергии приходится на позицию символа (не на защитный интервал), что увеличивает энергетическую эффективность приемника.

5 Беспроводные сенсорные сети

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) (Wireless Sensor Networks (WSNs)) - совокупность компактных автономных устройств, так называемых сенсорных узлов, расположенных в некоторой области пространства, и объединенных в сеть для решения определенного круга задач. Кроме сенсорных узлов, в состав сенсорной сети входит один или несколько узлов (стоков или серверов), в которых информация от сенсорных узлов собирается и анализируется. Сенсорный узел представляет собой устройство, включающее в себя микроконтроллер, приемопередатчик радиодиапазона и сенсор, который может измерять различные физические параметры: давление, температура, влажность, освещенность и др. Питание сенсорных узлов осуществляется от встроенных источников питания или (реже) от солнечных батарей. Возможности встроенных процессоров позволяют им обрабатывать информацию, поступающую от сенсора, производить несложные вычисления, обрабатывать данные, осуществлять коммуникации с помощью радиоканала. Обычно радиус действия радиосвязи мал по сравнению с размерами всей сети, вследствие чего каждый сенсорный узел может связываться только со своими ближайшими соседями. Данные от отдельных сенсоров передаются по сети от узла к узлу и могут попадать на некоторую базовую станцию - сервер (сток), который осуществляет сбор и обработку информации, поступающей из всей сети, а также обеспечивает связь с компьютерными сетями и взаимодействие с конечным пользователем. Сток также передает в сеть команды на сбор определенных данных или выполнение определенных заданий. Несмотря на то, что у отдельного узла мощность и вычислительные возможности ограничены, большое число узлов, организуясь в сеть, с вычислительной точки зрения, в принципе, способно выполнять задачи, с которыми не в состоянии справиться обычная компьютерная система. БСС имеет множество применений в научной, медицинской, коммерческой и военной областях. Примеры этих применений включают экологический контроль, умные дома и офисы, наблюдение, интеллектуальные системы транспортировки и др. Беспроводные сенсорные сети могут быть привлекательны и востребованы вслед-

стве таких свойств, как возможность быстрого развертывания, распределенность, самоорганизация, надежность и помехоустойчивость.

Беспроводная сенсорная сеть может включать в себя от десятка до тысяч упорядоченных в пространстве или случайно расположенных узлов, каждый из которых объединяет сенсоры, процессор и радиоустройство (приемопередатчик). Узлы самостоятельно организуют беспроводную сеть для мониторинга целевых событий, сбора различных данных, управления получаемой информацией, соединяясь друг с другом и затем передавая обработанную информацию к стоку. Это распространение информации происходит через промежуточные узлы с использованием ретрансляций («перескоков»).

Область применения таких систем весьма обширна - это измерение параметров окружающей среды (температура, влажность) мониторинг несущих конструкций зданий, системы сбора показаний с датчиков на теле пациента в медицине и др.

Область применения сенсорной сети накладывает определенные требования на различные характеристики приемопередающих устройств и протоколы взаимодействия устройств в сети. Это приводит к делению сенсорных сетей на различные типы например мультимедийные сенсорные сети, нательные (носимые) сенсорные сети и т.д.

Важной особенностью беспроводных сенсорных сетей является автономность узлов сети: отсутствие кабельных линий как обеспечивающих передачу информации от сенсоров, так и подводящих электропитание к узлам. Узлы сенсорной сети как правило должны иметь возможность работы от батареи или аккумулятора, при этом обеспечивая длительное время жизни сети без замены узлов сети или элементов питания

Необходимость обеспечения длительной автономной работы беспроводных портативных устройств является проблемой, определяющей жизнеспособность, область применения и конкурентоспособность беспроводных технологий и устройств на их основе. Для решения вопросов энергопотребления и энергосбережения могут использоваться различные подходы : конструктивные решения, позво-

ляющие использовать малопотребляющие компоненты, организация протоколов связи, снижающих нагрузку на устройства, введение спящих режимов и др.

5.1 Функционирование сенсорных сетей

Работа беспроводной сенсорной сети начинается с развертывания, т.е. с расположения отдельных сенсорных узлов в рабочей области пространства и их включения. Конкретные точки расположения сенсорных узлов определяются спецификой выполняемых сетью задач, они могут быть жестко заданы или выбраны произвольно. После развертывания в сети происходит процесс инициализации, после окончания которого, она должна быть готова к работе.

Число узлов в зависимости от специфики сети может варьироваться в пределах от десятков до десятков тысяч единиц. Каждый отдельно взятый узел обладает очень ограниченными вычислительными ресурсами, а также небольшими ресурсами памяти, мощности и энергии источника питания. Кроме того, существует определенная вероятность выхода из строя сенсорных узлов с течением времени, а также вероятность потери информации в радиоканале при передаче между узлами. Рассмотренные факторы делают беспроводные сенсорные сети довольно сложными системами с нетривиальной и непостоянной во времени топологией. Для успешного функционирования сенсорной сети необходимо решение задач, связанных с энергосбережением, контролем доступа элементов сети к среде, организацией отдельных элементов в кластеры и связи между кластерами, маршрутизацией передаваемых пакетов информации, распределением вычислительной мощности и др. Прямая связь по меньшей мере части узлов с каким-либо управляющим центром может отсутствовать, взаимодействие в сенсорной сети происходит лишь в локальных масштабах. Все перечисленные задачи сенсорная сеть должна решать самостоятельно, что означает с точки зрения потребителя выполнение принципа «развернул, включил и работай» («deploy, plugandplay»).

5.2 Беспроводные сенсорные сети на сверхширокополосных сигналах

В отличие от обычной радиосвязи, сверхширокополосные приемопередатчики используют короткие без носителя импульсы длительностью от сотен пикосекунд до нескольких наносекунд (или в случае хаотических сигналов импульсы длиной от единиц до сотен наносекунд) для передачи и приема информации. При этом энергия СШП-импульсов распределена в широком диапазоне частот и имеет полосу от 500 МГц до нескольких гигагерц. Такая большая полоса обеспечивает высокую пропускную способность и низкую вероятность обнаружения для СШП-систем связи.

Использование технологии СШП для связи между узлами беспроводной сенсорной сети (БСС) обеспечивает не только небольшие размеры самих узлов, но и высокую скорость передачи данных по беспроводным каналам, в том числе и при наличии многолучевых искажений. В БСС, использующих СШП-сигналы, из-за использования сигналов малой энергии узлы могут взаимодействовать только со своими близкими соседями и за счет этого избегать интерференции между узлами, в то время как в узкополосных сетях этот вопрос стоит достаточно остро.

Таким образом, СШП-технология обладает рядом свойств, которые могут существенно влиять на построение СШП-сенсорных сетей, выбор и разработку алгоритмов ее функционирования.

Важными для формирования и функционирования СШП-сенсорных сетей могут оказываться следующие обстоятельства, связанные с их свойствами.

Высокая физическая скорость передачи при относительно низкой реальной средней скорости обмена данными в ряде приложений существенно упрощает проблему коллизий, поскольку даже если не предпринимать специальных мер, то коллизии случаются редко. Поэтому в тех случаях, когда потеря отдельного сообщения не является критичной, борьбу с коллизиями можно вообще не вести. При прочих равных условиях СШП-технологии потребляют меньше энергии, что связано с более низкой излучаемой мощностью по сравнению с узкополосными системами

и более эффективным использованием энергосберегающих режимов, за счет наличия пауз между пакетами и импульсами в пакетах.

В узкополосных беспроводных сенсорных сетях, работающих в условиях помещений и индустриальной среды, в точках приема наблюдается сильная интерференция сигналов, приходящих по разным лучам и, как следствие, суммарная мощность может меняться в несколько раз. Это приводит к необходимости либо иметь существенный запас мощности излучаемого сигнала, либо использовать приемопередающие устройства с изменяемой мощностью излучения и соответствующие алгоритмы управления этой мощностью в сети. Первый вариант резко увеличивает число соседей, которое видит каждый узел, и тем самым усложняет процедуру организации сети. Использование второго варианта приводит к усложнению аппаратной части узлов и их программного обеспечения. Отсутствие интерференции при использовании СШП-сигналов в значительной степени снимает эту проблему.

Более устойчивая дальность работы узлов в СШП-сетях позволяет также снизить требования к реконфигурации при изменении положения устройств, поскольку в отличие от узкополосных систем здесь нет резких изменений уровня сигнала при небольших перемещениях устройств.

5.3 Применение сенсорных сетей

В качестве перспективного направления создания высокоскоростных каналов для сенсорных сетей рассматриваются сверхширокополосные технологии передачи данных. Один из способов получения сверхширокополосных сигналов — использование хаотических колебаний в качестве несущей.

Рассмотрим два примера построения сенсорных сетей на основе описанных выше СШП-приемопередатчиков.

Лабораторная сенсорная сеть. Беспроводная СШП сенсорная сеть (система сбора информации) состоит из 10 прямохаотических приемопередатчиков и пульта управления, реализованного на компьютере с соответствующим программным обеспечением. Пульт управления контролирует состояние приемника хаотических

радиоимпульсов, отображает его текущее состояние, принимает и обрабатывает данные от сети передатчиков, автоматически определяет присутствие в эфире каждого передатчика, сохраняет или производит дополнительную обработку информации от передатчиков.

Из указанных 10 устройств шесть снабжены различными сенсорами, осуществляющими сбор информации (датчики температуры, освещенности, алкоголя), три приемопередатчика используются только в режиме ретрансляторов, и однотерминальное устройство подсоединено к последовательному порту компьютера.

Дальность действия приемопередатчиков в свободном пространстве составляет от 12 до 15 м. В передатчиках применяется асинхронный пакетный принцип передачи данных. Структура состоит из следующих полей пилотного банта синхронизации: поля, определяющего T_{im} системы, которая передает пакет длительностью один байт; поля, определяющего размер пакета в байтах, длительностью один байт; поля адреса устройства-получателя пакета длительностью один байт; поля адреса устройства-отправителя пакета длительностью один байт; поля номера команды длительностью один байт; поля номера передаваемого пакета для контроля целостности длительностью один байт; поля, содержащего передаваемые данные длительностью N байт; поля* контрольной суммы пакета длительностью два байта. Общая длина пакета составляет 9 байт. Физическая скорость передачи равна 2.5 Мбит/с. Она используется внутри пакета. Между пакетами имеются интервалы времени, которые определяют фактическую скорость передачи данных. В рассматриваемом приложении последняя составляет около 100 Кбит/с.

Установку и настройку сети производят в следующем порядке.

Сначала устанавливаются приемопередатчики с сенсорами. Перед установкой в их микроконтроллеры вносятся соответствующие адреса. Связь между приемопередатчиком пульта управления и каждым из приемопередатчиков с сенсорами можно осуществлять либо напрямую, либо через ретранслятор. Соответствующие маршруты вносятся в память микроконтроллера ретранслятора.

В пункт управления информация с сенсоров поступает через интервалы времени равные 1 с. Каждый сенсор передает информацию на пульт управления независимо, не согласуя интервалы времени передачи с другими устройствами. Поскольку цикл передачи составляет менее 1 мс, вероятность "столкновения" пакетов мала и ею пренебрегают.

Беспроводная сверхширокополосная система сбора данных. Цель разработки - создание средств СШП беспроводной связи для системы мониторинга технического состояния крытого конькобежного центра в Крылатском (Москва).

Ледовая арена конькобежного центра показана на рисунок. 17. Беспроводная система мониторинга должна определять состояние конструкций сооружения, в том числе полукольцевой железобетонной балки и несущих ферм, поддерживающих крышу.

Сверхширокополосная беспроводная система связи содержит 57 приемопередатчиков, расположенных на фермах сооружения вместе со станциями мониторинга; 10 приемопередатчиков, расположенных на полукольцевой балке (рисунок. 18).

Приемопередатчики на фермах используются для получения команд со стороны центрального пункта управления на включение/выключение активного режима самих приемопередатчиков, для включения станций мониторинга, получения от них данных, передачи этих данных на центральный пункт управления и выключения станций мониторинга. Приемопередатчики на полукольцевой балке используются как ретрансляторы при передачекоманд от центрального пункта управления к станциям мониторинга, расположенным на фермах, и при передаче потоков данных от станций мониторинга к центральному пункту* управления. Приемопередатчики на балке соединены кабелем с компьютером управления беспроводной сетью, который в свою очередь связан с компьютером управления системой мониторинга в целом (рисунок 19).

Каждый из приемопередатчиков на балке является ретранслятором для определенной группы приемопередатчиков на фермах. Все приемопередатчики сис-

темы имеют встроенные источники питания, обеспечивающие длительную автономную работу устройств.



Рисунок 17 – Ледовая арена конькобежного центра в Крылацком

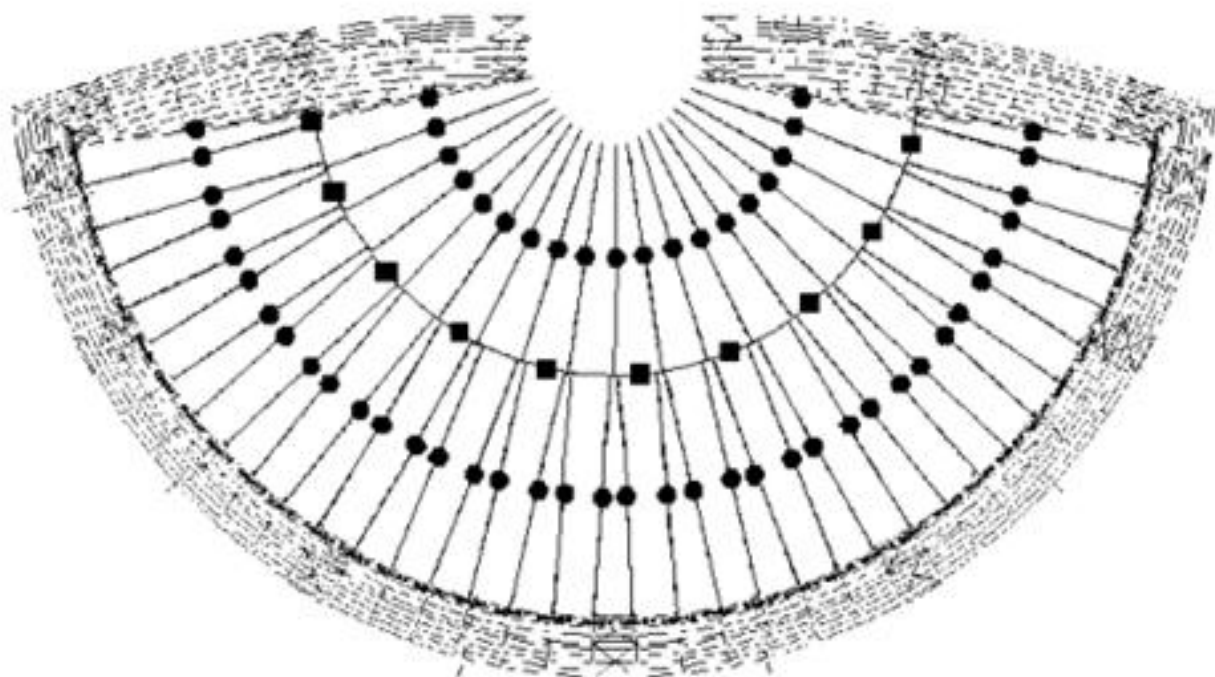


Рисунок 18 – План конькобежного центра со схемой расположения СШП
прямохаотических приемопередатчиков

На рисунке 18 кружочками обозначены места расположения фермовых приемопередатчиков, подключенных к станциям мониторинга (сейсмографам). Квадратиком обозначены места размещения приемопередатчиков, установленных на полукольцевой балке и соединенных проводом с пультом управления сетью

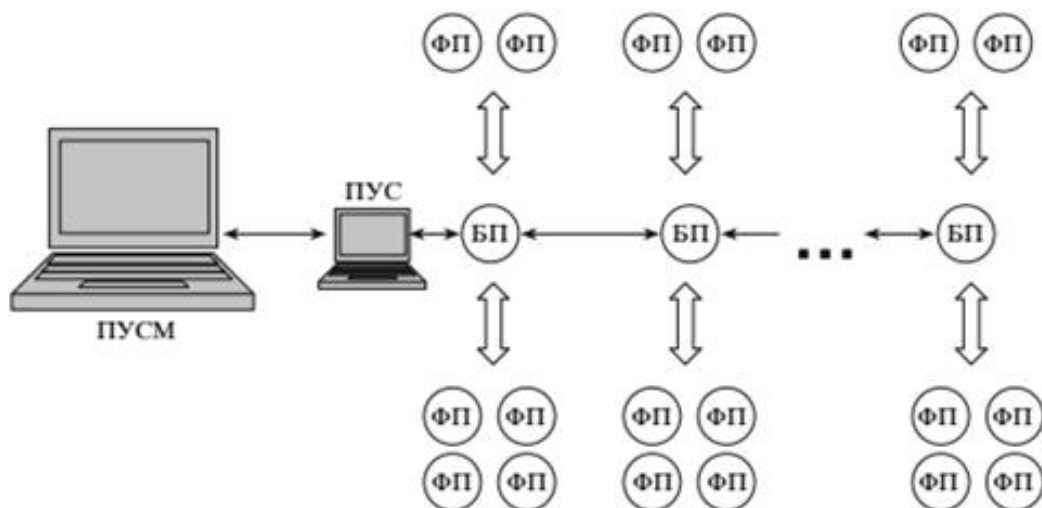


Рисунок 19 – Функциональная схема беспроводной сети сбора данных, установленной в конькобежном центре

На рисунке 19 используются следующие обозначения:

ФП – фермовые приемопередатчики.

БП – балочные приемопередатчики, соединенные проводом с пультом управления сетью и далее с пультом управления системой мониторинга

ПУС- пульт управления сетью

ПУСМ- пульт управления системой мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможность использования хаотических сигналов в коммуникациях, в частности в беспроводной связи активно изучается с 1990-х годов. В прямохаотической схеме беспроводной связи (ПХСС) используются хаотические радиоимпульсы в качестве носителя информации. Схема была предложена в 2000 гСШП сенсорные сети способны стать основой для чрезвычайно перспективного технологического направления, способного оказать революционное воздействие на все сферы жизни, подобно тому, как в предыдущие десятилетия это сделала компьютерная техника. В данной работе излагаются принципы прямохаотической связи, обсуждаются её особенности, и описываются СШП приёмопередатчики

В 2007 г. метод прямохаотической передачи информации (передача с помощью хаотических импульсов) был введен в стандарт сверхширокополосной беспроводной персональной связи IEEE802.15.4a, тем самым международное научно-техническое сообщество впервые признало динамический хаос в качестве нового эффективного носителя информации для беспроводных систем связи.

В 2012 г. сверхширокополосные хаотические импульсы были введены в качестве носителя информации еще в один стандарт беспроводной персональной связи - беспроводные нательные сенсорные сети (Стандарт IEEE 802.15.6 - WBAN). Так, шаг за шагом осуществляется переход информационных и коммуникационных технологий на основе динамического хаоса из сферы фундаментальных и прикладных исследований в практическую деятельность.

Серьезное внимание к сверхширокополосным системам связи определяется необходимостью решения проблемы обеспечения массовой локальной беспроводной высокоскоростной связи для легких, мобильных устройств (гаджетов), а также для интеллектуальных беспроводных сенсорных систем нового поколения с высокой пространственной плотностью размещения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами/ М.: Радиосвязь, 1985 — 384 с.
2. Дмитриев А.С. Адаптивность, самоорганизация и сложность сверхширокополосных беспроводных сенсорных сетей/ Дмитриев А.С., Уразалиева Д.М. // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. №3. — С. 7.
3. Дмитриев А.С. Детерминированный хаос / Дмитриев А.С., Панас А.И., Старков С.О. и др. // РЭ. 2001. Т. 46 №2. — С. 224.
4. Дмитриев А.С. Панас. А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи/ М.: Физмат, 2002— 252 с.
5. Дмитриев А.С. Сверхширокополосная беспроводная самоорганизующаяся прямохаотическая сенсорная сеть/ Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Лазарев В.А., Герасимов М.Ю. // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. №3. — С. 19.
6. Дмитриев А.С. Сверхширокополосные системы передачи информации/ Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Максимов Н.А. и др. // Радиотехника. 2000. №3. — С. 9.
7. Ефремова Е.В. Сверхширокополосная беспроводная связь и сенсорные сети / Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Клецов А.В. и др. // РЭ. 2008. Т.53 №10. — С. 1278-1289