

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.763-5*

Передача данных по каналам ВЧ с использованием фазовой манипуляции или квадратурной амплитудной модуляции

(Вопрос МСЭ-R 145/9)

(1992-1994-1995-1997-1999-2005)

Сфера применения

Эта Рекомендация обеспечивает системы передачи данных с использованием фазовой манипуляции (ФМН) и квадратурной амплитудной модуляции (КАМ) по каналам высокой частоты (ВЧ). Для скоростей передачи от 3200 до 12 800 бит/с информация содержится в Дополнении 6.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что имеется увеличивающийся спрос на высокоскоростную передачу данных;
- b) что для удовлетворения этой потребности могут быть использованы два типа модемов с фазовой манипуляцией (ФМН), а именно, модемы параллельной передачи, использующие многоканальное тональное телеграфирование, и модемы последовательной передачи, использующие одну поднесущую частоту;
- c) что для компенсации неблагоприятного характера среды передачи для двух типов модемов доступны следующие методы:
 - различные формы работы с двойным разнесением, включая отдельные излучения одной боковой полосы (ОБП) или излучение одной независимой боковой полосы (ISB);
 - кодирование для обнаружения ошибок и исправления ошибок, которое сочетается с перемежением во времени;
 - переменная скорость передачи данных для адаптации системы к пропускной способности канала;

и, только для модемов параллельной передачи:

- несколько уровней разнесения частоты внутри полосы;
- введение защитных интервалов времени между кадрами для борьбы с многолучевым распространением и искажениями группового замедления,

рекомендует,

- 1** что для передачи данных с двоичными скоростями вплоть до 2400 бит/с с использованием систем частотного разделения каналов (ЧРК) и ФМН предпочитается система, описанная в Приложении 1;
- 2** что для передачи данных на двоичных скоростях вплоть до 3600 бит/с с использованием модемов последовательной передачи предпочитается система, описанная в Приложении 2;
- 3** что следует сослаться на Приложении 3 для дополнительной информации, касающейся обобщенной ФМН;

* Эту Рекомендацию следует принимать во внимание 8-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

4 Приложение 4 описывает системы разнесения режима/поляризации для улучшения характеристик систем ФМН ВЧ;

5 что для передачи данных с двоичными скоростями вплоть до 4800 бит/с с использованием модемов последовательной передачи система описывается в Приложении 5;

6 что для передачи данных с двоичными скоростями от 3200 до 12 800 бит/с с использованием модемов последовательной передачи характеристики предпочитаемых систем описываются в Приложении 6.

Приложение 1

Передача данных на скоростях 2400/1200/600/300/150/75 бит/с по каналам ВЧ с использованием многоканального тонального телеграфирования и ФМН

1 Описание системы

1.1 Приемопередающее оконечное оборудование системы состоит:

- из передатчика и приемника цифровой информации (например, компьютер);
- из модема, основная функция которого заключается в преобразовании информации из цифровой формы в аналоговую форму, совместимую с входом радиопередатчика, и преобразование аналоговой информации на выходе радиоприемника в цифровые данные, совместимые с цифровым входом приемника.

Этот модем также осуществляет различные кодирующие функции и осуществляет сочетание разнесения;

- из радиочастотного (РЧ) приемопередающего оборудования, подключенного к антеннам.

1.2 На стороне передачи входной поток данных 2400 бит/с подается на последовательно-параллельный преобразователь. На интервалах из 32 битов (т. е. интервалах 13,33 мс) содержимое этого преобразователя параллельно переносится к 32-битному устройству памяти, выход которого подключен к модулятору четырехуровневой фазовой манипуляции (ЧФМН).

При передаче модем порождает составной сигнал аудио, состоящий из набора 18 тональных частот в полосе от 300 до 3000 Гц.

Из этих тональных частот 16 частот имеют разнос по 110 Гц (от 935 до 2585 Гц) и модулируются в режиме дифференциально-кодированной четырехкратной фазовой манипуляции (ДК-ЧФМН), каждая на скорости 75 Бод, тем самым допуская скорость передачи данных в $16 \times 75 \times 2 = 2400$ бит/с.

Тональная частота 605 Гц используется для исправления сквозных сдвигов частоты, включая любое Доплеровское воздействие. Тональная частота 2915 Гц (или 825 Гц) используется для синхронизации системы.

Сумматор двойного разнесения может получать входные сигналы от любого из приемников, действуя в режиме разнесения пространства, частоты или поляризации, или от одного приемника, работающего в режиме одной независимой боковой полосы.

Когда скорость передачи данных является под-кратным значением скорости передачи, могут быть использованы различные средства разнесения в рабочей полосе. Как пример, скорость передачи данных 1200 бит/с обеспечивает двойное разнесение (1200×2), скорость передачи данных 600 бит/с, четверичное разнесение (600×4) и так далее, все со скоростью передачи 2400 бит/с. Использование максимально возможного разнесения, как в рабочей полосе, так и между независимыми каналами, может быть таким образом выполнено согласно выбранной скорости передачи данных. Обеспечивается условие для 75/150/300/600/1200 бит/с.

В дополнение к выбору работы с кодированием/без кодирования, с выбираемой скоростью передачи данных и режимом разнесения, этот модем также позволяет осуществлять установку интервала перемежителя, тем самым обеспечивая гибкую систему связи, как обобщено в таблице 1.

Сигнал передачи состоит из кадров, длительность которых составляет 13,33 мс. Это включает в себя защитное время (4,2 мс), которое вводится для компенсации воздействий многолучевого распространения.

Модем использует два метода для уменьшения искажений сигналов, особенно тех, которые вызываются импульсными помехами и неглубокими замираниями:

- код для исправления ошибок;
- перемежение во времени.

Используется циклический код Боуза-Чоудхури-Хоквенгема (BCH) (16,8). Кодовые слова BCH хранятся в памяти для извлечения во время процесса перемежения. Перемежение получается с учетом:

- первого бита последнего хранимого слова;
- второго бита "(m) слова, сохраненного ранее";
- третьего бита "(2 m) слова, сохраненного ранее";
- 16-го бита "(15 m) слова, сохраненного ранее".

ТАБЛИЦА 1

Скорости передачи данных/режимы (выбираемые независимым образом для передачи и приема)

Скорость передачи данных (бит/с)	Режимы без кодирования			Режимы с кодированием			
	Режимы разнесения			Перемежение во времени Доступное расширение времени (передатчик и приемник) (с)	Дополнительные режимы разнесения		
	В полосе	Канал	Сумма		В полосе	Канал	Сумма
2 400	–	$\times 2$	$\times 2$				
1 200	$\times 2$	$\times 2$	$\times 4$	0–12,8	–	$\times 2$	$\times 2$
600	$\times 4$	$\times 2$	$\times 8$	0–25,6	$\times 2$	$\times 2$	$\times 4$
300	$\times 8$	$\times 2$	$\times 16$	0–51,2	$\times 4$	$\times 2$	$\times 8$
150	$\times 16$	$\times 2$	$\times 32$	0–102,5	$\times 8$	$\times 2$	$\times 16$
75				0–205	$\times 16$	$\times 2$	$\times 32$

Уровень перемежения (m кодовых слов) может быть выбран согласно условиям распространения тракта радио от 0 (нет перемежения) до 1, 2, 4, 8, 16, 32 или 64, в соответствии с задержкой приема данных, простирающейся от нескольких миллисекунд до десятков секунд. Поскольку неправильные биты не принадлежат тому же самому кодовому слову, достигается более хорошая защита от пакетов ошибок.

На рисунке 1 дается характеристика модема с Гауссовским распределенным шумом в понятиях вероятности ошибок по битам, P_e , как функция отношения сигнал-шум, S/N , как для режимов с кодированием, так и для режимов без кодирования, в полосе пропускания частот 250–3000 Гц.

Воздействия кодирования становятся заметными на более высоких значениях S/N .

Кривые были получены с помощью экспериментальной установки, в которой на модем подавалась испытательная последовательность для воспроизведения звуковых тональных частот. Выходной сигнал модема складывался с Гауссовским шумом, подвергался фильтрации и прикладывался к приемному входу другого модема, из которого испытательная последовательность извлекалась на выходе. Затем испытательная последовательность подавалась на анализатор ошибок данных, чтобы обеспечить определение коэффициента ошибок по битам (КОБ).

Рисунок 2 указывает результаты компьютерного моделирования показателей качества модема в канале с замираниями.

Был смоделирован канал с замираниями, в котором два тракта с равными амплитудами переносят сигналы, разделенные задержкой многолучевости порядка 1 мс и отличающиеся по частоте на 1 Гц, чтобы получить замирания, которые пролегли бы полосу пропускания вместо того, чтобы оставаться на некоторых фиксированных частотах.

Из рисунка 2 можно видеть, что показатели качества улучшаются путем использования сочетания различных типов разнесения (в рабочей полосе и вне полосы), кодов исправления ошибок и методов перемежения для скоростей 600, 1200 и 2400 бит/с.

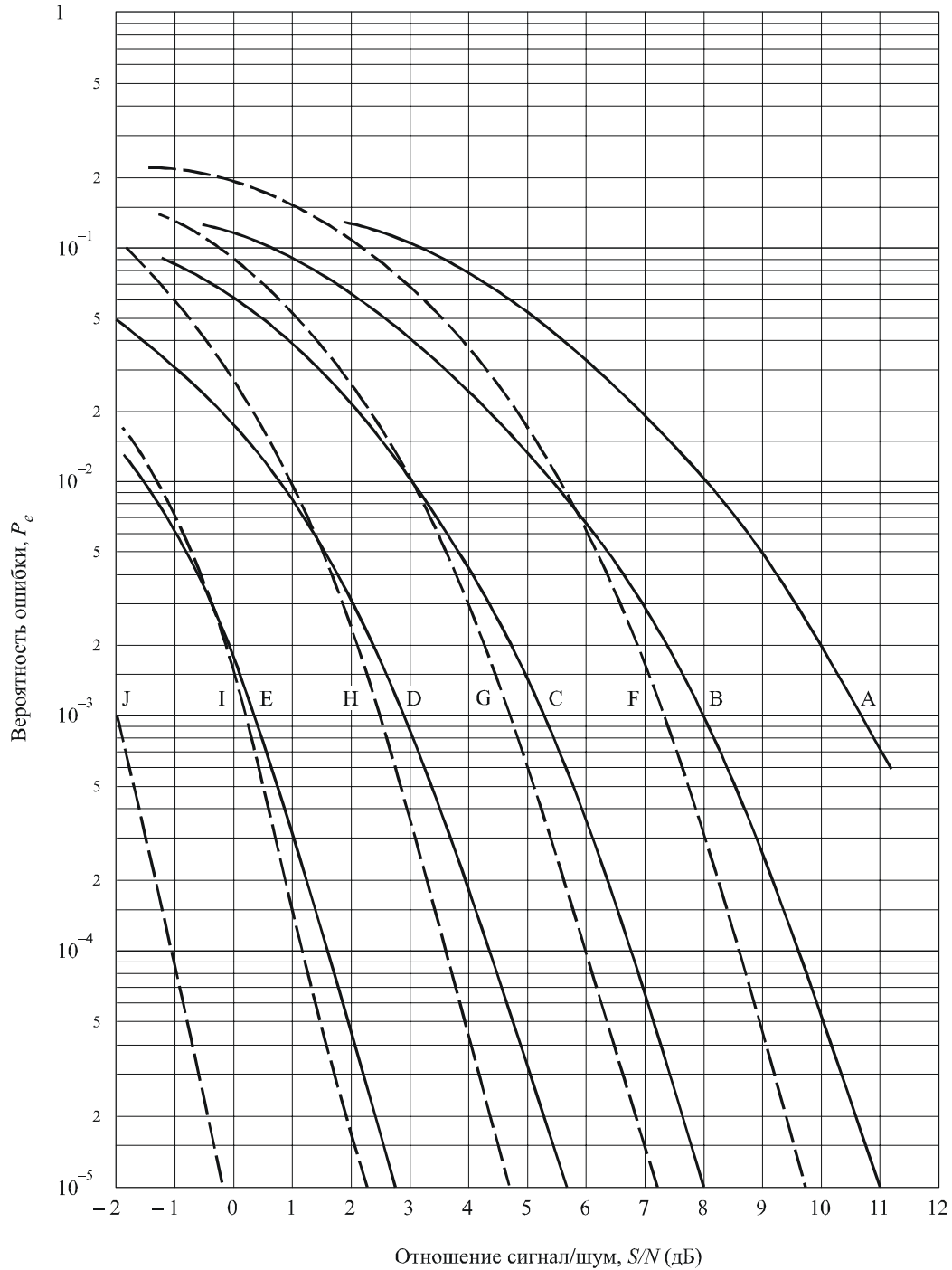
В настоящее время модем находится в экспериментальном использовании как часть линии ВЧ между двумя радиостанциями, расположенными в центральной и южной Италии и разделенными приблизительно расстоянием 800 км (500 миль).

1.3 Оборудование ВЧ выполняет, при передаче, операции, относящиеся к канальной модуляции, и осуществляет излучение, обладающее подходящими характеристиками радиочастоты и мощности. В приемнике выполняются обратные операции, относящиеся к преобразованию частоты, с тем чтобы получить составной сигнал аудио, который должен быть доставлен в модем.

Оборудование РЧ обладает следующими конкретными характеристиками:

- фазовые дрожания: менее 5° для временного интервала 10 мс (100 отсчетов);
- искажение группового замедления: 500 мкс на передаче, 500 мкс на приеме;
- перекрестная модуляция: 36 дБ ниже пиковой мощности огибающей.

РИСУНОК 1
 Вероятность ошибки по битам в зависимости от отношения S/N для различных скоростей передачи данных с режимами кодирования или без кодирования, с разнесением в рабочей полосе для каналов без замираний с Гауссовким шумом

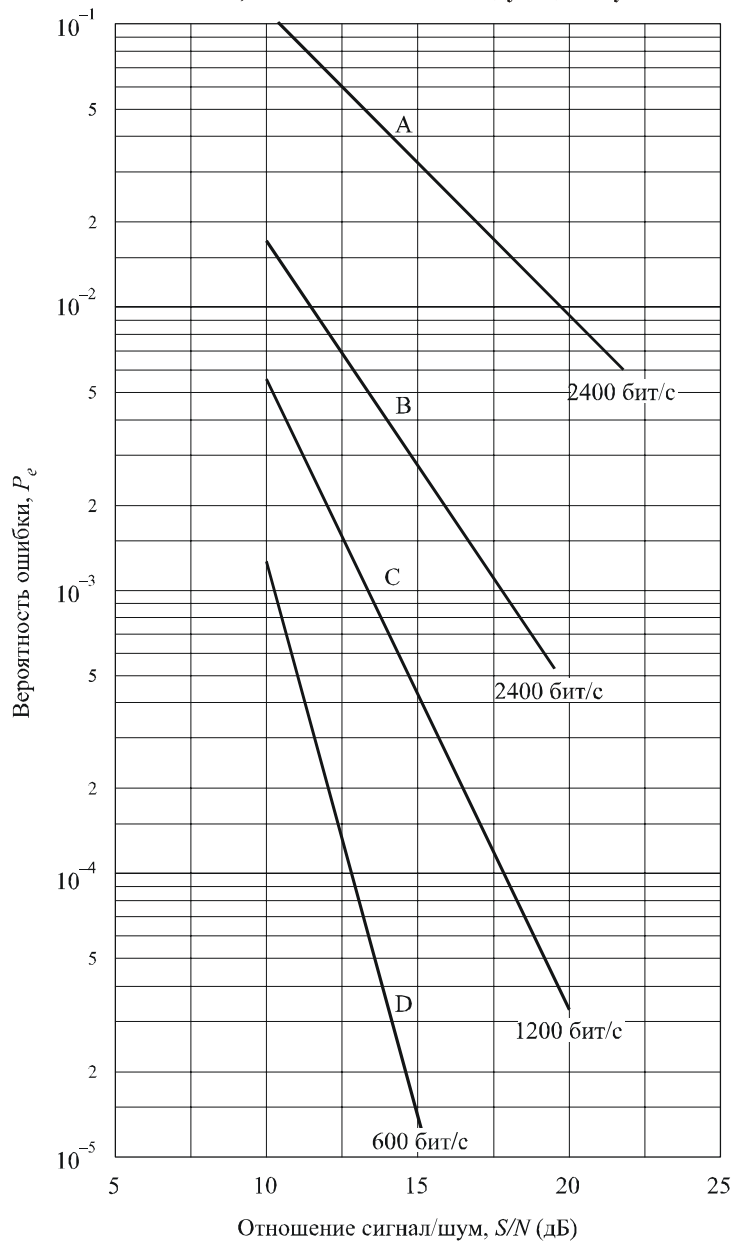


Без кодирования	—	{	A: 2400 бит/с	С кодированием без перемежения	- - -	{	F: 1200 бит/с
			B: 1200 бит/с				G: 600 бит/с
			C: 600 бит/с				H: 300 бит/с
			D: 300 бит/с				I: 150 бит/с
			E: 150 бит/с				J: 75 бит/с

0763-01

РИСУНОК 2

Вероятность ошибки по битам в зависимости от отношения S/N для канала с селективными замираниями с использованием скоростей передачи данных 600, 1200 и 2400 бит/с в следующих случаях



- A: без разнесения
- B: только вне полосы
- C: разнесение в рабочей полосе и вне полосы
- D: разнесение в рабочей полосе с использованием кодов исправления ошибок и перемежения

Приложение 2

Передача данных на скоростях до 3600 бит/с по каналам ВЧ с использованием последовательного модема

1 Общие положения

Модем разрешает передачу данных в канале ВЧ 3 кГц. Он получает и восстанавливает цифровые данные на скорости ≤ 3600 бит/с и порождает аналоговый сигнал звуковой частоты (ЗЧ) в пределах полосы аудио 300–3300 Гц.

Он включает в себя защиту против многолучевости, эффекта Доплера и замираний.

2 Рабочие режимы модемов

Имеются три возможных рабочих режима.

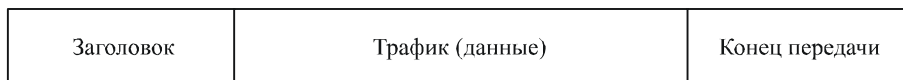
2.1 Полудуплексный режим с прямым исправлением ошибок (ПИО)

2.1.1 Этот режим использует многоуровневую фазовую манипуляцию (МФМН) ($M = 2, 4, 8$) на скорости 2400 Бод при скорости пользователя 75, 150, 300, 600, 1200, 2400 или 3600 бит/с (не все из этих скоростей передачи доступны со всеми видами форм сигналов), и с кадрами из 256 модулированных символов (из которых 128 являются символами пользователя), т. е. 106,6 мс.

2.1.2 Обмен данными включает в себя три фазы, а именно, заголовок, трафик и конец передачи:

РИСУНОК 3

Описание связи в режиме ПИО



0763-03

Фаза заголовка дает возможность вызываемому модему обнаруживать вызов и получать технические параметры (кодирование, перемежение, скорость передачи данных, модуляция), которые ему требуются для остальной части передачи. Фаза трафика содержит данные, подлежащие передаче. Конец фазы передачи обеспечивает вызываемому модему обнаружение слова конца сообщения, чтобы завершить связь и возвратиться к режиму ожидания трафика.

Конец передачи проявляется тогда, когда вызывающий модем передает кадры "повесить трубку". Эти кадры подобны кадрам заголовка, но включают в себя бит, содержащий информацию "повесить трубку".

2.1.3 Обеспечиваются следующие функции:

- *Излучение:*
 - кодирование данных и перемежение;
 - синхронизация по кадрам и модуляция;
 - передача сигнала ЗЧ.
- *Прием:*
 - получение сигнала ЗЧ;

- обнаружение синхронизации;
- демодуляция принятого сигнала;
- исключение перемежения данных и декодирование.

2.2 Режим полного дуплекса с ПИО

Этот режим означает ту же самое, что и две независимых полудуплексных линии с ПИО. В каждом направлении посылается и опознается вызываемым модемом заголовок, сопровождаемый данными и словом конца сообщения. Как в полудуплексном режиме с ПИО, этот заголовок указывает технические параметры, которым необходимо следовать.

2.3 Режим автоматического запроса повторения (АЗП)

2.3.1 Этот режим использует модуляцию МФМН ($M = 2, 4, 8$) на скорости 2400 Бод со скоростями пользователя 600, 1200, 1800 или 2400 бит/с (не все из скоростей битов доступны со всеми формами сигналов), с кадрами из 256 модулированных символов (из которых 128 являются символами пользователя), т. е. 106,6 мс.

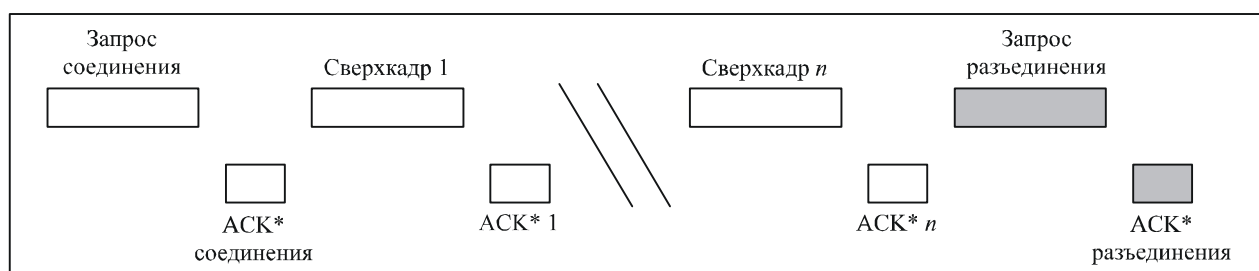
2.3.2 Режим АЗП является режимом передачи данных, включающим в себя избирательное повторение с использованием блока. Данные для передачи подразделяются на блоки, соответствующие кадру модема. Вызывающий модем посылает сверхкадр из N блоков (N обычно равно 64, но может быть ниже, чем во время передачи последних данных) и ожидает от вызываемого модема подтверждения его получения.

Если какие-нибудь блоки не были приняты правильно, они передаются повторно в следующем сверхкадре, который составляется из новых блоков.

Фазами, содержащимися в этом режиме, являются установление вызова (соединения), передача данных и окончание передачи (разъединение). Кроме того, режим АЗП позволяет кратковременное разъединение, переключение вызывающего/вызываемого участника, управление потоком, а также адаптивную мощность, управление скоростью передачи данных и частотой.

РИСУНОК 4

Описание связи в режиме АЗП



* АСК: Подтверждение

0763-04

Режим АЗП тем самым включает в себя две отличающиеся фазы, а именно, фазу передачи (передачу сверхкадра на вызывающем конце и подтверждение на вызываемом конце) и фазу приема (получение подтверждения на вызывающем конце, а также сверхкадра на вызываемом конце).

2.3.3 Адаптивное управление

2.3.3.1 Режим АЗП позволяет адаптивную мощность, управление скоростью передачи данных и частотой. Из них только управление адаптивной скоростью передачи данных полностью осуществляется модемом. В случае управления мощностью модем указывает системе, что должна

быть выполнена адаптация, и продолжает передачу, в то время как в случае управления частотой модем моментально отключается после указания системе, что необходимо найти новую частоту.

2.3.3.2 Процедура управления адаптивной мощностью основывается на статистических измерениях качества связи. Увеличение адаптивной мощности достигается очень быстро, в то время как снижение мощности включают в себя большую константу времени.

2.3.3.3 Адаптивное управление скоростью передачи данных осуществляется на трех скоростях передачи данных, выбранных среди четырех скоростей, которые доступны, а именно, 2400, 1800, 1200 и 600 бит/с.

Адаптивные увеличения в скоростях передачи данных основываются на статистических измерениях качества связи, в то время как уменьшения основываются либо на статистических измерениях качества связи, либо на отсутствии приема данных или подтверждений во время передачи.

2.3.3.4 Если адаптивное управление уменьшением скорости передачи данных не является достаточным для продолжения передачи, то делается запрос к системе для осуществления адаптивного управления частотой.

Для того чтобы можно было найти новую частоту, модем на момент отключается и переходит в резервный режим для возобновления передачи, сохраняя данные, которые еще не были переданы.

2.3.3.5 Есть возможность установить модем в режим АЗП таким образом, чтобы он не осуществлял адаптивное управление скоростью передачи данных. В этом случае действуют только управление частотой и мощностью.

2.3.4 Обеспечиваемыми функциями являются следующие:

- *Передача, на вызывающем конце:*
 - сегментация данных,
 - кодирование данных,
 - синхронизация по кадрам и модуляция,
 - передача сигнала ЗЧ.
- *Передача, на вызываемом конце:*
 - кодирование подтверждений,
 - синхронизация по кадрам и модуляция,
 - передача сигнала ЗЧ.
- *Прием, на вызывающем конце:*
 - прием сигнала ЗЧ,
 - обнаружение синхронизации,
 - демодуляция принятого сигнала,
 - декодирование подтверждений.
- *Прием, на вызываемом конце:*
 - получение сигнала ЗЧ,
 - обнаружение синхронизации,
 - демодуляция принятого сигнала,
 - декодирование данных,
 - повторная сборка данных.

3 Технические характеристики модема

3.1 Модуляция

3.1.1 Метод модуляции включает в себя сдвиг фазы поднесущей частоты 1800 Гц. Скорость модуляции составляет 2400 Бод с минимальной точностью 10^{-5} .

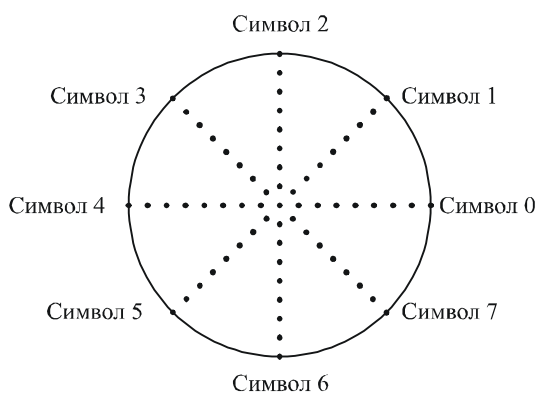
3.1.2 Стабильность задающего генератора, связанная с порождением частоты 1800 Гц, равна 10^{-5} .

3.1.3 Сдвиг фазы модулированного сигнала относительно немодулированной эталонной поднесущей частоты может принимать одно из следующих значений:

№ символа	Фаза
0	0
1	$\pi/4$
2	$\pi/2$
3	$3\pi/4$
4	π
5	$5\pi/4$
6	$3\pi/2$
7	$7\pi/4$

Номер символа n связывается с комплексным числом $\exp(jn\pi/4)$.

РИСУНОК 5
Кодирование состояния фазы



0763-05

3.2 Перекодировка

Перекодировкой является операция, в которой символ, подлежащий передаче, связывается с группой двоичных цифр.

3.2.1 Скорость передачи данных 1200 бит/с: 2-ФМН

Перекодировка осуществляется путем связывания символа с двоичной цифрой согласно следующему правилу:

Бит	Символ
0	0
1	4

3.2.2 Скорость передачи данных 2400 бит/с: 4-ФМН

Перекодировка осуществляется путем связывания символа с набором, составленным из двух последовательных двоичных цифр согласно следующему правилу:


Комбинация из двух битов	Символ
0 0	0
0 1	2
1 0	6
1 1	4



3.2.3 Скорость передачи данных 3600 бит/с: 8-ФМН

Перекодирование осуществляется путем связывания символа с набором, составленным из трех последовательных двоичных цифр согласно следующему правилу:

Комбинация из трех битов	Символ
0 0 0	1
0 0 1	0
0 1 0	2
0 1 1	3
1 0 0	6
1 0 1	7
1 1 0	5
1 1 1	4



3.3 Структура кадра

3.3.1 Символы, подлежащие передаче, структурированы в периодических кадрах длиной 106,6 мс. Количество двоичных цифр, передаваемых в каждом кадре, равно 128 битов при скорости 1200 бит/с, 256 битов при скорости 2400 бит/с и 384 битов при скорости 3600 бит/с.

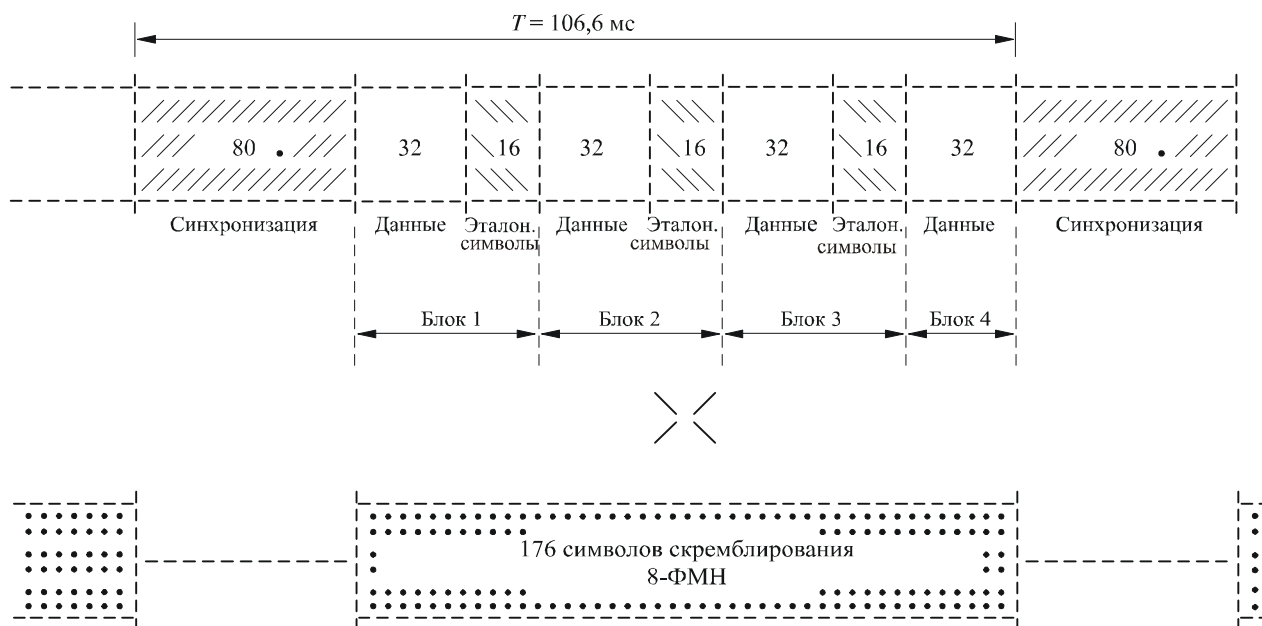
3.3.2 Кадр составлен из 256 символов, со следующей структурой: 80 символов для синхронизации, 48 эталонных символов и 128 символов данных.

Рисунок 6 отображает структуру кадра.

3.3.3 Последовательность синхронизации передается в режиме 2-ФМН, на скорости модуляции 2400 Бод. Она используется модемом для обнаружения присутствия сигнала и для корректирования частотного сдвига, возникающего либо из-за эффекта Доплера, либо из-за разницы между несущими частотами передачи и приема, бита синхронизации, и либо времени выравнивания в случае выравнивания с помощью рекурсивной фильтрации, либо оценки канала ВЧ в случае обнаружения с помощью метода максимального правдоподобия.

РИСУНОК 6

Структура кадра



0763-06

3.3.4 Эталонные символы и символы данных структурированы в четыре блока, из которых первые три включают в себя 32 символов данных, за которыми следуют 16 эталонных символов, с последним блоком данных, включающим в себя 32 символа данных. Все из эталонных символов соответствуют номеру 0 символа.

Эти 176 эталонных символов и символов данных скремблируются с помощью последовательности скремблирования, включающей в себя 176 символов, которая повторяется каждые 106,6 мс. Эта последовательность передается с помощью модуляции с 8 состояниями на скорости 2400 Бод. Тем самым возможно создать кадр с 8 состояниями фазы, какой бы ни была скорость передачи данных (1200 бит/с, 2400 бит/с или 3600 бит/с).

Операция скремблирования состоит из сложения по модулю 8 номера символа, связанного с данными, с номером символа, связанным со скремблированием, которое равняется комплексному умножению символа данных на символ скремблирования.

3.4 Кодирование, исправляющее ошибки, перемежение

Использование кодирования, исправляющего ошибки, в сочетании с соответствующим перемежением может значительным образом улучшить коэффициент КОБ.

На основе трех основных режимов без избыточности, а именно

- 3600 бит/с 8-ФМН,
- 2400 бит/с 4-ФМН,
- 1200 бит/с 2-ФМН,

кодирование разрешает введение различных возможностей по избыточности.

3.4.1 Режим ПИО

Этот режим включает в себя использование сверточного кодирования в сочетании с перемежением, которое также является сверточным. Используемый сверточный код является избыточным кодом 2 и ограниченной длины $K = 7$, связанным с характеристиками полинома 171,133 (восьмиричное представление).

Избыточности ниже, чем 2, получаются путем периодического удаления кодовых символов (прокалыванием), в то время как избыточности больше, чем 2, получаются путем повторения.

Среди различных возможностей следует упомянуть следующие:

Скорость передачи данных с кодированием (бит/с)	Форма сигнала	Избыточность	Метод для получения этой скорости кода
2 400	8-ФМН	3/2	Преобразование скорости передачи данных 1/2 в скорость передачи данных 2/3
1 200	4-ФМН	2	Исходный код на скорости передачи данных 1/2
600	2-ФМН	2	Исходный код на скорости передачи данных 1/2
300	2-ФМН	4	Код на скорости передачи данных 1/2, повторяемый 2 раза
150	2-ФМН	8	Код на скорости передачи данных 1/2, повторяемый 4 раза
75	2-ФМН	16	Код на скорости передачи данных 1/2, повторяемый 8 раз

3.4.2 Режим АЗП

Используется кодирование Рида-Соломона (RS), и перемежение отсутствует.

Скорость передачи данных с кодированием (бит/с)	Форма сигнала	Избыточность	Кодирование (символы из 8 битов)
2 400	8-ФМН	3/2	RS (48,32)
1 800	4-ФМН	4/3	RS (32,24)
1 200	4-ФМН	2	RS (32,16)
600	4-ФМН	4	RS (32,8)

3.5 Спектр модулированного сигнала

Спектр модулированного сигнала после фильтрации и переноса частоты 1800 Гц показан на рисунке 7. Общая ширина полосы частот равна 3000 Гц.

3.6 Допустимое отклонение частоты между ВЧ несущими частотами передачи и приема

Модем должен быть способен допускать сдвиг частоты ± 75 Гц между несущими частотами ВЧ передачи и приема (включены отклонение частоты передатчика/приемника и Доплеровский сдвиг) и скорость изменения частоты самое большее в 3,5 Гц/с.

4 Интерфейсы с другим оборудованием

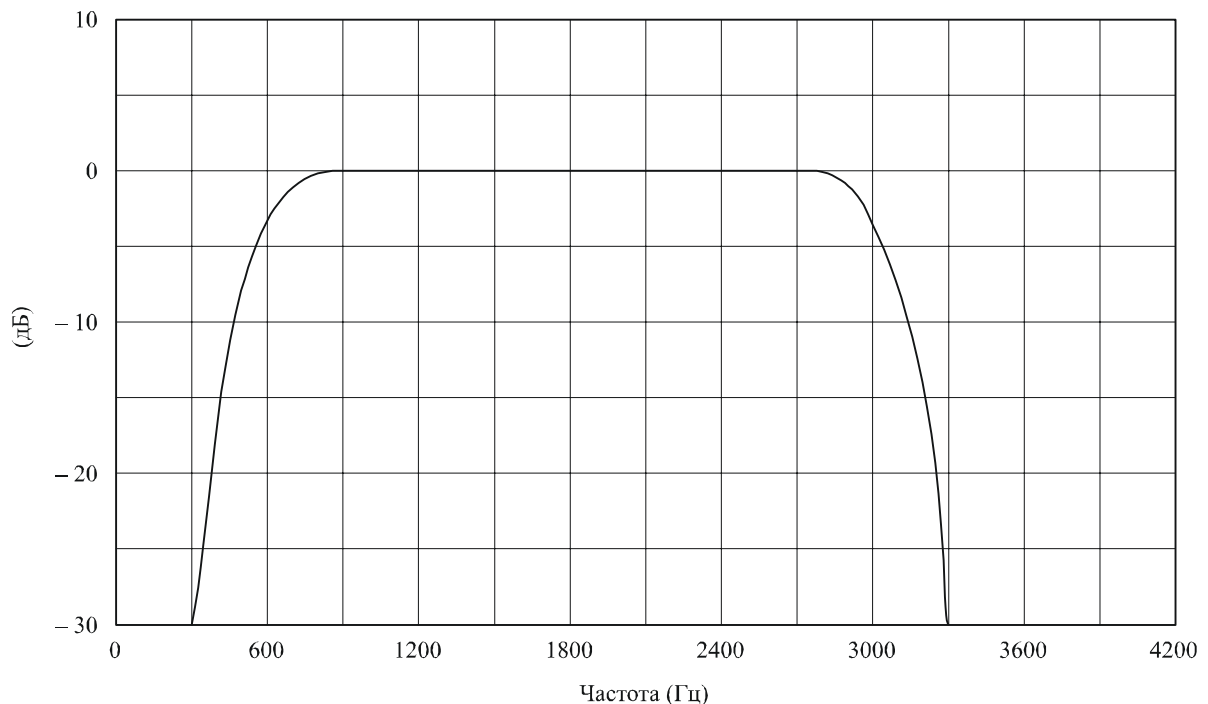
4.1 Интерфейс модема с оконечным оборудованием данных

Это удовлетворяет Рекомендации МСЭ-T V.24, при этом электрические характеристики находятся в соответствии с Рекомендацией МСЭ-T V.11 (RS 422).

4.2 Интерфейс модема с передатчиком и приемником

Входные и выходные цепи модема являются симметричными по отношению к земле, имея импеданс 600 Ω при уровне 0 дБм.

РИСУНОК 7
Спектр модулированного сигнала



4.3 Качество работы связанных передатчиков и приемников

Для получения оптимальной работы рекомендуются следующие характеристики для передатчиков и приемников:

4.3.1 Они должны иметь такую полосу пропускания между 300 Гц и 3300 Гц, чтобы изменения затухания передачи были не более ± 2 дБ.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Работа последовательного модема с шириной полосы пропускания частот системы от 300 до 3000 Гц возможна с уменьшенными показателями качества. Потребуется дальнейшие исследования для разработки модема с поднесущей частотой 1650 Гц, работающего в системах с уменьшенной шириной полосы частот.

4.3.2 Групповая задержка не должна изменяться более чем на 0,5 мс для 80% этой полосы пропускания.

4.3.3 Точность частот пилот-сигналов передатчиков и приемников должна быть не менее 10^{-6} .

4.3.4 Постоянная времени для цепи автоматической регулировки усиления (АРУ) должна быть менее 10 мс для деактивации и менее 25 мс для повторной активации.

Приложение 3

Системы передачи, использующие ФМН

1 Введение

В каналах ВЧ информация на скоростях более 200 бит/с обычно передается с использованием методов со многими состояниями и составных сигналов. Это обычно включает в себя сочетание частотно-манипулированных ортогональных поднесущих с 2-ФМН. С помощью последнего метода может быть достигнута удвоенная скорость передачи по сравнению с методом ЧМН в одинаковой частотной полосе, а избыточность может быть использована для увеличения защищенности от шума. Не считая многочастотной ФМН, практический интерес связывается с более обобщенным типом модуляции – обобщенной ФМН, в которой информация, подлежащая передаче, содержится не в различиях между мгновенными фазами синусоидальных сигналов, а в разности между фазовыми спектрами составных ортогональных сигналов. Амплитудные спектры таких сигналов совпадают и могут быть согласованы с частотной характеристикой канала (или со спектром помех) без нарушения условий взаимной ортогональности. На основе этого имеется возможность рассматривать построение адаптивных модемов с высокой защищенностью от шума или с более высокой пропускной способностью трафика.

Практическое применение обобщенной ФМН сдерживалось в прошлом известными трудностями, вовлеченными в синтез и обработку сложных сигналов. Основные проблемы теперь были решены благодаря теории синтеза, которая была развита, и доступности микроэлектронных модулей с высокой степенью интеграции, которая удалила препятствие технической сложности цепей. Это Приложение формулирует главные принципы, управляющие разработкой модемов с обобщенной ФМН, описывает вариант, который был развит, и дает ряд результатов испытаний.

2 Теоретические вопросы

2.1 Селекция сигналов

Как было отмечено Шенноном (Shannon), для получения скорости передачи, эквивалентной пропускной способности связи в каналах с частотной характеристикой $Y(\omega)$ и Гауссовским шумом $N(\omega)$, следует использовать сигналы, характеризуемые Гауссовским процессом устойчивого состояния с мощностью P и спектром мощности вида:

$$F(\omega) = \begin{cases} B \frac{Y(\omega)}{N(\omega)} & \text{для } \omega \in \Omega \\ 0 & \text{для } \omega \notin \Omega. \end{cases} \quad (1)$$

где диапазон интеграции Ω определяется из условия $F(\omega) \geq 0$, а константа B зависит от мощности сигналов. Поскольку на практике всегда имеются стандарты, управляющие допустимыми пределами для задержки передаваемой информации, максимальная продолжительность сигнала и количество сигналов должны быть ограничены. При этих условиях конечномерные сочетания определенных ортогональных сигналов, квадраты модулей спектральной плотности которых совпадают с $F(\omega)$, можно рассматривать как являющиеся близкими к оптимуму. Однако из уравнения (1) следует, что $F(\omega) = 0$ на всех частотах, где $B < Y(\omega)/N(\omega)$, т. е. взаимная ортогональность должна быть сохранена, когда индивидуальные части спектра отклонены. Многочастотные сигналы, используемые в существующих модемах, не обладают этим свойством. Кроме того, их ортогональная форма спектра оптимальна только для каналов с плоской частотной характеристикой и помехами типа "белого" шума. Вычисления показывают, что неспособность выполнить эти условия может привести к потерям скорости передачи информации до 40% от пропускной способности канала связи.

Другим критерием для оценки оптимального характера сочетаний ортогональных сигналов является требование относительно формы их функции автокорреляции. Например, чтобы гарантировать стабильность в эксплуатации системы синхронизации, главный лепесток этой функции должен быть достаточно узким, а боковые лепестки не должны превышать заданный уровень. В этом случае взаимная ортогональность должна быть гарантирована в заданном амплитудном спектре сигнала, который не обязательно удовлетворяет условию уравнения (1).

С учетом вышеуказанного, для получения обобщенной ФМН был разработан специальный класс сигналов, основанных на использовании сложных систем функций с двойной ортогональностью. Их спектральные плотности могут быть представлены следующим образом:

$$S_k(\omega) = |S(\omega)| e^{j[K\psi(\omega) + \alpha(\omega)]}, \quad (2)$$

где:

$$|S(\omega)|^2 = A \left| \frac{d\psi(\omega)}{d\omega} \right|,$$

где:

A : постоянный коэффициент,

$\alpha(\omega)$: произвольная ограниченная функция.

Поэтому для заданного спектра амплитуды есть возможность определять спектр фазы сигналов и, следовательно, их спектральную плотность. Дальнейший синтез вовлекает нахождение отсчетов спектральных плотностей сигналов с различными последовательными числами и преобразование их с использованием Быстрого преобразования Фурье (БПФ) в отсчеты времени. Синтез сигналов может быть объединен с кодированием сигналов в области времени, используя код Рида-Соломона; для этой цели ряд нулевых отсчетов должен быть заранее добавлен к спектральным отсчетам плотности, и только тогда может быть выполнение преобразование БПФ. Следует отметить, что этот тип смешанного кодирования (ортогонального в области частоты и кода Рида-Соломона в области времени) является наиболее эффективным для каналов ВЧ.

2.2 Выбор алгоритма обработки

В случае методов со многими состояниями для передачи информации лучше обрабатывать сигналы, которые будут получены, используя оптимальный алгоритм для приема "в целом". Самый простой способ осуществления такого алгоритма состоит в том, чтобы использовать компонентные демодуляторы; для этой цели должны выполняться следующие условия:

- сигналы со многими состояниями должны быть компонентного типа, т. е. они должны быть составлены из суммы элементарных сигналов;
- каждый элементарный сигнал должен содержать информацию о соответствующем элементе кодового слова $b_{i,k}$;
- помехи, воздействующие на элементарные сигналы, должны быть взаимно независимыми.

В этом случае правило решения состоит в следующем:

$$\max \left[L_i = \sum_{k=1}^N e_{i,k} y_k \right], \quad (3)$$

где:

$e_{i,k}$: знаковый коэффициент, который принимает значение: +1, когда $b_{i,k} = 1$, и
-1, когда $b_{i,k} = 0$

$$y_k = \ell_n \frac{W(Z_{k/1})}{W(Z_{k/0})},$$

где:

Z_k : составной входной сигнал (см. рисунок 1),

$W(Z_{k/1})$: вероятность того, что Z_k есть 1,

$W(Z_{k/0})$: вероятность того, что Z_k есть 0.

Оптимальность в этом случае определяется степенью, до которой используемые сигналы выполняют вышеупомянутые условия. Первые два включают в себя возможность использования компонентного демодулятора. Для этих условий, подлежащих выполнению, достаточно для каждого отсчета спектральной плотности (или его компонентов) содержать информацию о знаке соответствующего двоичного символа. Условие, предусматривающее взаимную независимость помех, может быть уменьшено до условия, предусматривающего независимость проекций вектора принятого сигнала на систему на основе функций преобразования Фурье. Это условие выполняется в случае независимых замираний в индивидуальных полосах частот, постоянства основных функций по отношению к изменениям времени и помех с плоским спектром мощности. На практике оказывается невозможным полностью удовлетворить все различные вышеупомянутые требования, так что защищенность от шума для компонентного демодулятора будет ниже, чем потенциальная защищенность от шума, хотя намного выше, чем в случае приема отдельного элемента сигнала.

Блок-схема приемной секции модема, который осуществляет правило решения (3), состоит из следующих блоков (см. рисунок 8): блок для вычисления логарифма коэффициента правдоподобия y_k ; блок для вычисления линейных форм L_i ; элемент решения, определяющий номер линейной формы с максимальным значением; цифровой преобразователь, который сравнивает с каждым числом свою собственную комбинацию двоичных символов; и это обеспечивает оценку переданной информационной последовательности.

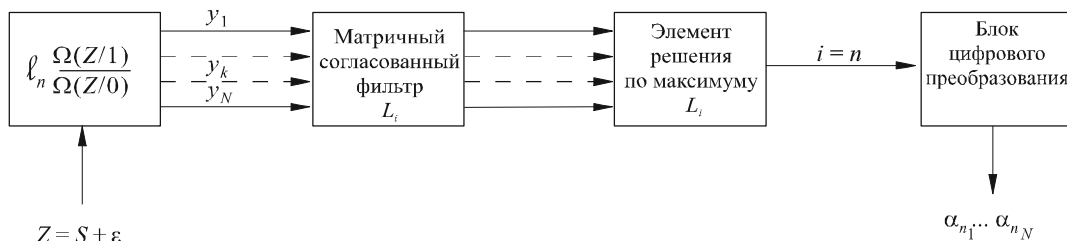
3 Описание системы

Блок-схема системы показана на рисунке 9. Она состоит из следующих элементов: оконечные устройства пользователя; блок преобразования сигнала (модем), расположенный или в непосредственной близости от оконечных устройств, или в отдельном блоке управления связью;

приемное и передающее ОБП оборудование и соответствующие антенны. Когда модем установлен в блоке управления, связь с оконечным устройством устанавливается через каналы тональной частоты.

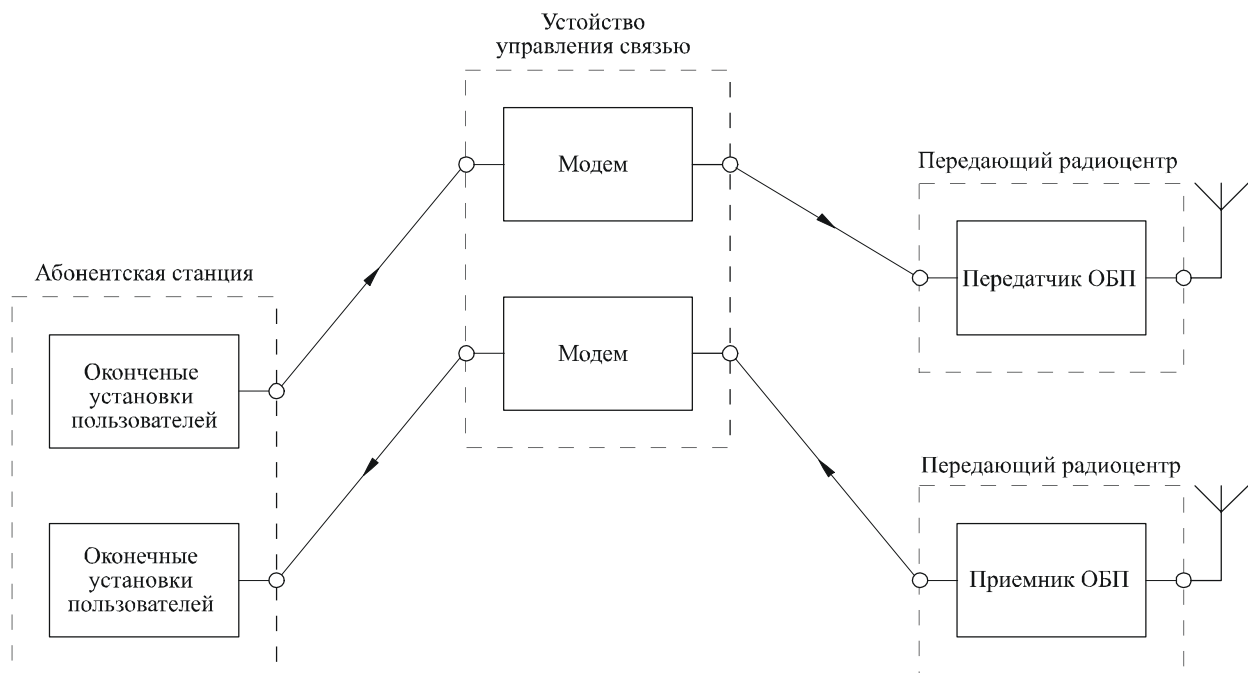
Когда он установлен в непосредственной близости от оконечного устройства, он может быть присоединен с помощью цепей постоянного тока.

РИСУНОК 8
Приемная секция модема



0763-08

РИСУНОК 9
Блок-схема системы



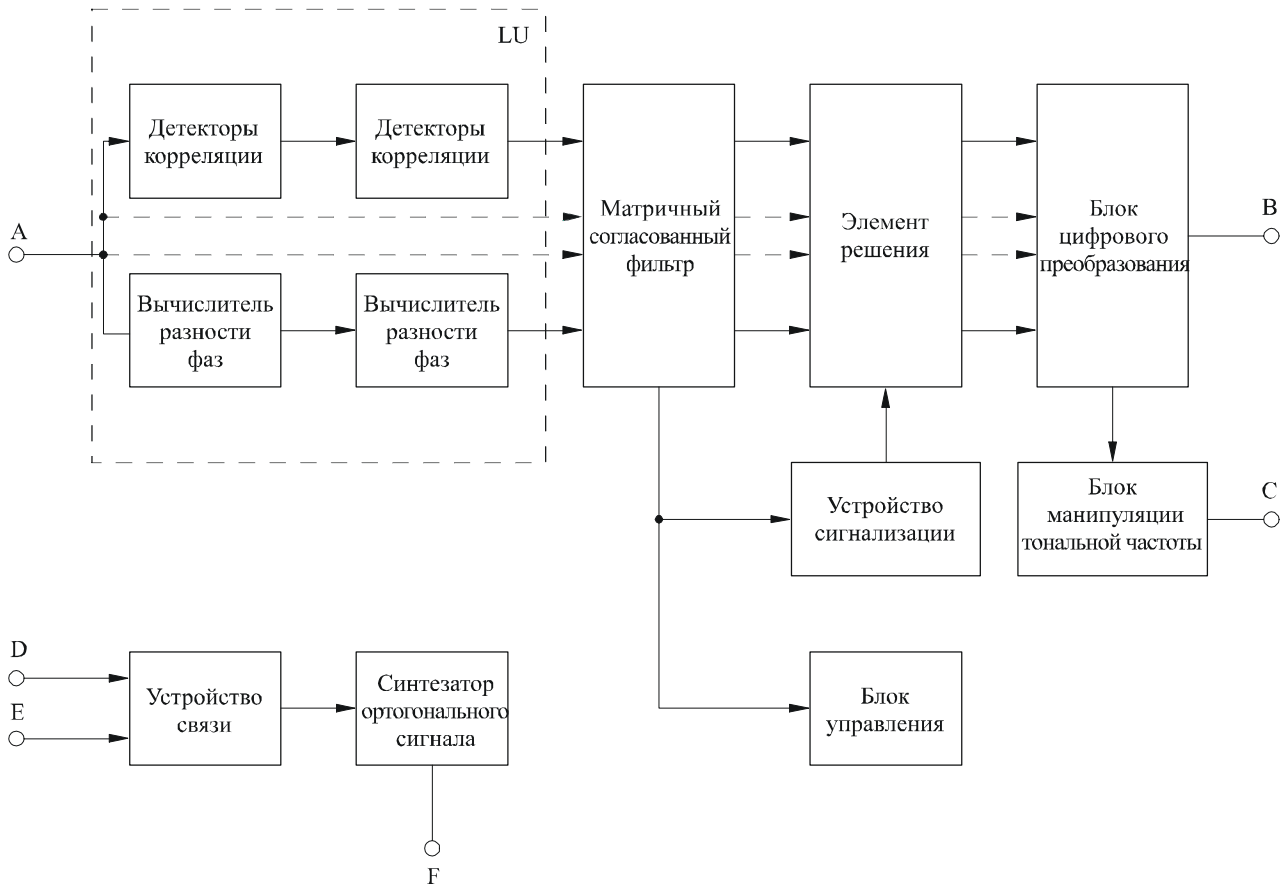
0763-09

Блок-схема модема, воплощающего принципы, которые рассмотрены выше, показана на рисунке 10. Модем разработан для передачи цифровой информации на скоростях 600–1200 бит/с. Для более низких скоростей битов должен использоваться дополнительный кодек. Скорость передачи 2400 бит/с получается путем увеличения количества используемых сигналов и переключением на отдельный прием элемента сигнала. Передатчик модема состоит из устройства связи и синтезатора ортогонального сигнала.

Устройство связи разработано для согласования модема с оконечным оборудованием пользователя через каналы тональной частоты или с цепями постоянного тока, а также для управления синтезатором. Оно включает в себя усилитель – выпрямитель тональной частоты, регенератор и логическую цепь управления.

Синтезатор ортогонального сигнала формирует аналоговые сигналы и усиливает их до необходимого уровня. Он состоит из блока кодирования, постоянного запоминающего устройства ПЗУ, преобразователя цифрового сигнала в аналоговый (ЦАП), фильтра низкой частоты и усилителя мощности. Определенным свойством работы синтезатора ортогонального сигнала является то, что отсчеты времени всех сигналов, подлежащих использованию для передачи информации, уже введены в свои ПЗУ. Эти отсчеты заранее были рассчитаны на компьютере в соответствии с правилами, изложенными в предыдущей секции.

РИСУНОК 10
Блок-схема модема



- A: вход приемника модема
 B: выход тональной частоты приемника модема
 C: выход приемника модема по постоянному току
 D: вход тональной частоты передатчика модема
 E: вход по постоянному току передатчика модема
 F: выход передатчика модема

0763-10

В начальной стадии, чтобы проверить основные используемые принципы, синтезировался набор из 16 биортогональных сигналов; они имели плоский спектр амплитуды в диапазоне 1,1–2,42 кГц и эффективную полосу 0,66–2,86 кГц. Их спектральные плотности были представлены четырьмя составными отсчетами, каждый из которых мог обеспечивать информацию относительно знаков двух двоичных символов. Чтобы переместить спектр к этим отсчетам, были добавлены два нулевых отчета, и после преобразования Фурье было выполнено дополнительное умножение на комплексный компонент.

Отсчеты времени сигналов, вычисленные этим способом, были введены в 8-разрядную решетку в ПЗУ и после того, как они были считаны на тактовой частоте 8,8 кГц, было возможно получить на выходе блока ЦАП аналоговые сигналы с длительностью 3,33 мс и с интервалом ортогональности в 2,27 мс.

Последовательность действий в передатчике модема является следующей: двоичные информационные сигналы от оконечного оборудования регенерируются, объединяются для формирования 4-разрядных кодовых слов и затем подаются на выход цепи относительного кодирования, которая управляет выбором из ПЗУ одной из 16 форм сигнала. С выхода ПЗУ отсчеты преобразуются с помощью блока ЦАП в аналоговый сигнал, который после усиления подается по каналу тональной частоты ко входу передатчика ОБП.

Как показано на рисунке 8, приемная секция модема состоит из следующих элементов: из блока, который вычисляет логарифмы коэффициента правдоподобия (датчики корреляции); из вычислителя разности фаз; из матричного согласованного фильтра, который вычисляет все линейные формы L_i ; из элемента решения, который определяет номер максимальной формы; и из блока цифрового преобразования (БЦП). Он также содержит устройство синхронизации и блок управления. Обеспечена возможность для единичного или двойного рабочего режима с разнесением в пространстве или по поляризации.

Преобразование аналоговых сигналов в отсчеты спектральной плотности выполняется детекторами корреляции, которые вычисляют синфазный и квадратурный компоненты каждого отсчета. Начальная неопределенность, относящаяся к фазе канала, затем устраняется с использованием вычислителя разности фаз, и вычисляется фазовый спектр принятого сигнала. Согласованным фильтром является матричный сумматор, а каждая из ее колонок настраивается для выбора соответствующего отсчета, используя инвертирующие усилители. Элемент решения ищет колонку с максимальным выходным напряжением и, используя блок БЦП, передает 4-элементную последовательность двоичных символов, которые подаются на входное оконечное оборудование или непосредственно, или через блок манипуляции тональной частотой.

Блок управления работает по принципу, что напряжения на выходных шинах согласованного фильтра совпадают точно в пределах постоянных коэффициентов с распределением *априорных* вероятностей. Ясно, что показатели качества канала будут тем лучшие, чем "более крутым" является это распределение, так как в идеальном случае напряжение должно появиться только на одной из выходных шин согласованного фильтра. Различие между максимальным напряжением и напряжением, уровень которого наиболее близок к этому в другой шине, может использоваться для оценки качества канала в процессе передачи информации.

4 Экспериментальные исследования

Лабораторные испытания на модеме были выполнены с использованием моделирующей испытательной установки, которая включала следующие элементы: приемник ОБП, имитатор канала с двумя лучами, шумовой генератор и цифровой счетчик для подсчета количества ошибок. В качестве испытательной комбинации была использована псевдослучайная последовательность (ПСП) от генератора, встроенного в модем. Были проанализированы три режима работы: канал с постоянными параметрами и "белым" шумом; однолучевой канал с замиранием Рэля (Rayleigh); и канал с двумя лучами с разницей во времени распространения луча 1 мс, с идентичными амплитудами луча и замиранием Рэля. Результаты испытаний показаны на рисунках 11 и 12. Путем сравнения рисунок 11 показывает кривые для помехозащищенности многочастотного модема, как описано в Приложении 1 для одинаковой скорости передачи. Как показывают кривые, исследуемый модем имеет более хорошую помехозащищенность. Сравнение кривых А и В на рисунке 12а) показывает, что модем имеет более высокую помехозащищенность в канале с двумя лучами, чем в канале с одним лучом. Причины этого состоят в том, что в случае неглубоких замираний правило решения (3) больше не является оптимальным. В канале с двумя лучами преобладающую роль играют селективные замирания, с которыми модем может бороться более эффективно. Пунктирная линия на рисунке показывает теоретическую кривую для помехозащищенности оптимального некогерентного приема отдельного элемента сигнала с использованием двоичной ФМН в случае замирания Рэля.

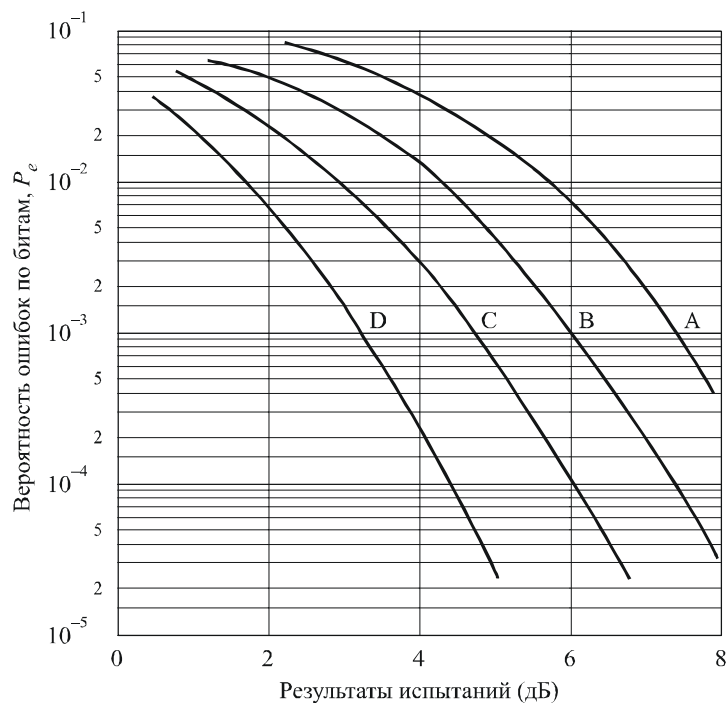
Испытания связей на модеме были выполнены на широтных трактах 3600 км и 4300 км. Использовались передатчик ОБП с мощностью 15 кВт, ромбические передающие антенны и приемные антенны бегущей волны с симметричными вибраторами (сдвоенный прием). Испытания на первом тракте выполнялись в течение дня и в течение ночи на одной частоте. На втором тракте использовались две частоты. Скорость передачи информации составляла 1200 бит/с. На основе

5-минутных измерений были подготовлены кривые, показывающие распределение коэффициента ошибок; они показаны на рисунке 12b).

5 Заключение

Использование обобщенной ФМН в сочетании с приемом "в целом" открывает дополнительные возможности для увеличения помехозащищенности при передаче цифровой информации. Модем, разработанный, чтобы служить практическим примером того, как может быть осуществлен метод обобщенной ФМН, использует сигналы с плоским спектром и с этой точки зрения подобен модемам, описанным в Дополнении 1. Испытания показали, что для связей более чем 3000–4000 км он гарантирует скорость передачи 1200 бит/с с коэффициентом ошибок, не превышающим от 1×10^{-4} до 1×10^{-3} в интервале от 95 до 98% времени.

РИСУНОК 11
Помехозащищенность модема

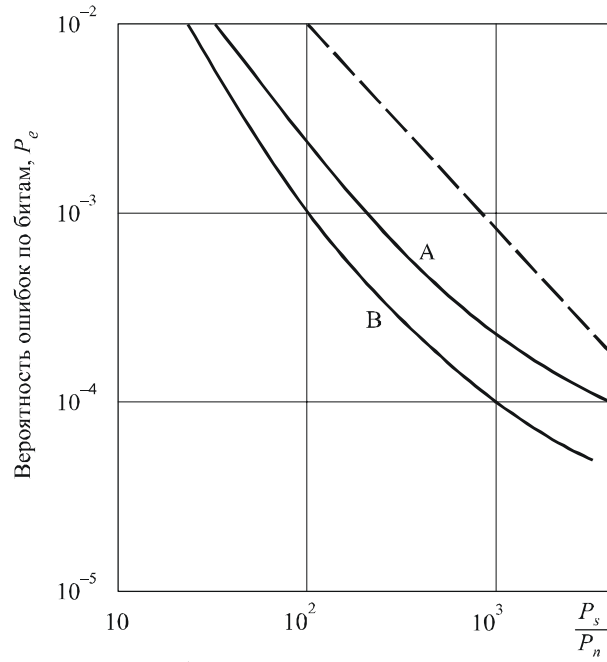


A: многочастотная	} 1200 бит/с
B: ОФМН	
C: многочастотная	} 600 бит/с
D: ОФМН	

0763-11

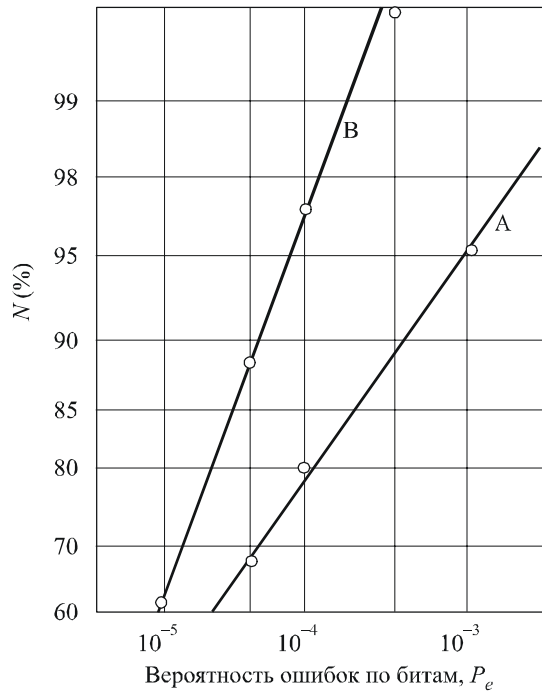
РИСУНОК 12

Помехозащищенность модема с замиранием



а) Испытания имитаторов

A: 1 один луч
 B: 2 два луча
 Скорость передачи: 1200 бит/с



б) Испытания линий связи

A: 3600 км
 B: 4300 км
 Скорость передачи: 1200 бит/с

Приложение 4

Разнесение режима/поляризации в высокочастотных радиосистемах передачи данных

1 Введение

Амплитуда принимаемого радиосигнала ВЧ флюктуирует, когда его направление поляризации изменяется относительно приемной антенны с появлением минимумов, когда поляризация ортогональна, и максимумов, когда поляризация параллельна. Замирания из-за изменений поляризации были подтверждены экспериментами, которые установили, что минимум принимаемого уровня сигнала на одном элементе антенны часто совпадает с максимальным уровнем сигнала на ортогональном элементе. Этот эффект может эксплуатироваться, используя систему ортогональных элементов антенны, чтобы улучшить показатели качества системы.

Много последовательных ВЧ модемов тональной частоты включают в себя такие адаптивные методы выравнивания, как описано в Приложении 2. Некоторые модемы используют форму сигнала, в которую в потоке данных периодически вставляется заголовок. Заголовок, который состоит из известных символов, разрешает оценивать мгновенный импульсный отклик канала. Адаптивный выравниватель может затем использовать оцененный импульсный отклик для объединения энергии от различных трактов, имеющих различные задержки. Текущее значение импульсного отклика сохраняется с помощью процедуры обновления наименьших средних квадратов, чтобы обновлять адаптивный выравниватель.

После выравнивания существование нескольких индивидуальных режимов распространения может быть выгодно, так как они вряд ли будут страдать от одновременных замираний, тем самым увеличивая вероятность того, что часть переданной энергии будет получена. Это явление, известное как разнесение режимов, может эксплуатироваться, пока переданная энергия, достигающая приемника, достаточна для преодоления шума. Лучше всего выигрыш от разнесения режимов может быть использован в том случае, если разность задержки трактов является достаточно большой, чтобы избежать неглубоких замираний. Используя ортогональные элементы антенны, на входе демодулятора можно создать искусственную многолучевость некоторого установленного значения. Подобным образом может быть достигнут выигрыш от разнесения поляризации, используя в своих интересах способность модема справляться с межсимвольной помехой и улучшать показатели качества с помощью режима разнесения.

Были рассмотрены два различных метода. Первый метод, называемый разнесением передачи, использует две ортогональные антенны, каждая из которых управляется отдельным передатчиком, но с автоподстройкой фазы и частоты, с входным сигналом основной полосы частот, задержанным для одного из передатчиков, и осуществляющий связь с приемником, имеющим единственную антенну. Второй способ, с разнесением приема, использует один передатчик и антенну, но два приемника с автоподстройкой фазы и частоты, подключенных к ортогонально поляризованным антеннам. Выходы приемников были связаны с сумматором разнесения, снова с одним трактом, задержанным в основной полосе частот, которая производится на входе к модему. Выходы приемника подключались к сумматору разнесения, функцией которого должно быть сложение двух сигналов для формирования входного сигнала к модему. Этот простой сумматор позволяет иметь разнесение приема без изменения к модему. Приемники ВЧ обычно используют АРУ для приспособления к широкому динамическому диапазону сигнала, чтобы поддерживать выходной сигнал близко к некоторому установленному уровню. Когда входной уровень сигнала к приемнику уменьшается в течение замираний, усиление приемника увеличивается за счет действия АРУ. Поэтому напряжение АРУ является удобной мерой мгновенного отношения S/N . Разработка сумматора должна придавать значение компоненту с лучшим отношением S/N за счет компонента с низким отношением S/N . По этой причине напряжения АРУ приемников используются сумматором разнесения, чтобы определять пропорцию этих двух сигналов, образующих сумму. Результирующий сигнал затем был подан на вход модема.

Было определено, что для системы, описанной в Приложении 2, где способность выравнивателя простирается до 5 мс, в основной полосе частот оптимальной является задержка 2,7 мс. Было установлено, что лучшие результаты получаются тогда, когда задержанный тракт был более слабым трактом. Это происходило из-за специфических методов синхронизации, используемых в модеме. По

этой причине процедура использования задержки сигнала с вертикальными антеннами гарантировала, что в обоих методах более сильный сигнал предшествовал более слабому сигналу.

2 Заключение

Этот вид разнесения может значительно улучшить показатели качества систем передачи радио ВЧ. Разнесение на передаче может уменьшить коэффициент ошибок на четыре порядка величины, в то время как разнесение на приеме может улучшить коэффициент ошибок на три порядка величины. Усовершенствование, предлагаемое разнесением поляризации, может быть оценено путем рассмотрения величины дополнительной передаваемой мощности, требуемой для улучшения показателей качества системы без разнесения, по отношению к уровню, достигнутому с помощью разнесения. Для модема, включающего в себя адаптивное выравнивание, использование разнесения на передаче эквивалентно увеличению мощности передатчика приблизительно на 6–8 дБ, в то время как простое разнесение на приеме эквивалентно увеличению мощности на 3–4 дБ. Для системы, использующей разнесение на передаче, два передатчика по 100 Вт могли бы заменить передатчик 1 кВт, если достигается выигрыш в 7 дБ. Это снижение мощности передатчика вместе с фактом, что разнесение по поляризации может быть осуществлено или на передающем, или на приемном конце без изменения в существующих модемах, могло бы представлять существенное сокращение стоимости. Тип разнесения, используемого в конкретном приложении, будет зависеть от типа затрагиваемой линии. То есть базовая станция, вероятно, использовала бы разнесение, в то время как удаленная станция его бы не использовала. Разнесение на передаче и приеме в особенности полезно, когда показатели качества линий передачи данных к мобильным платформам или к отдаленным участкам могут быть улучшены с помощью дополнительных антенн, приемников и передатчиков в местоположении базовой станции.

Приложение 5

Передача данных на скоростях до 4800 бит/с по каналам ВЧ с использованием последовательного модема передачи с ФМН или квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ)

1 Общие положения

Этот модем позволяет осуществлять передачу данных со скоростями до 4800 бит/с с использованием 16-КАМ в пределах полосы пропускания 300–2700 Гц. Метод модуляции переключается, согласно качеству линии, на ЧФМН на скорости 2400 бит/с или на ОФМН на скорости 1200 бит/с.

2 Свойства

- Доступны информационные скорости до 4800 бит/с.
- Информационная скорость переключается на 2400 бит/с (с ЧФМН) или 1200 бит/с (с ОФМН) согласно качеству линии.
- Полоса пропускания на передаче находится в пределах 300–2700 Гц, что разрешает использовать каналы с разносом 3 кГц.
- Протокол включает в себя последовательность синхронизации из 28 символов, относящихся к каждому кадру данных на 112 символов таким образом, что групповые скорости передачи составляют 6 кбит/с, 3 кбит/с и 1,5 кбит/с.
- Переключение скорости битов с помощью режима модуляции плавно достигается только с помощью переключателя преобразования без изменения скорости сигнализации.
- Используется двунаправленный корректор с решающей обратной связью (КРОС).

3 Спецификация

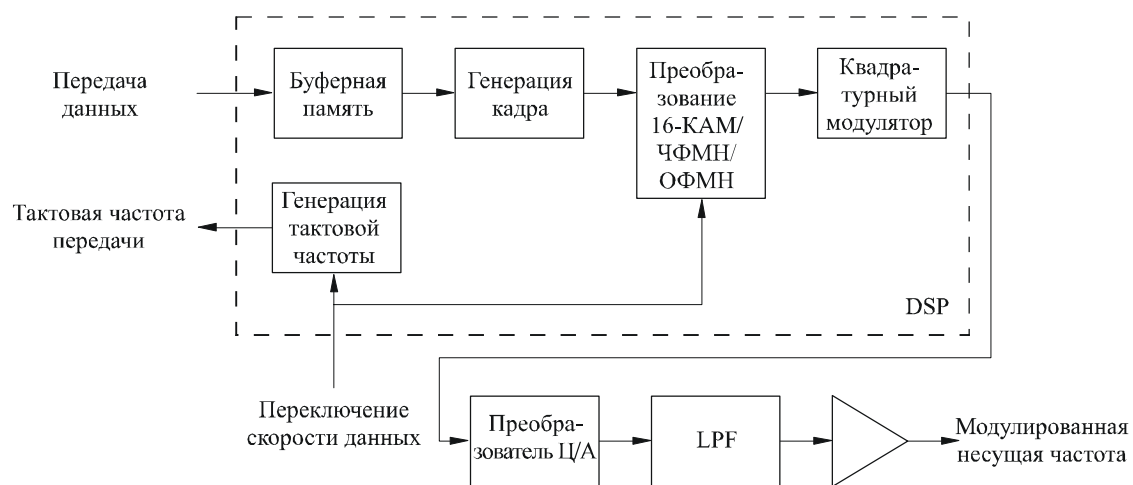
Режим модуляции	16-КАМ	ЧФМН	ОФМН
Скорость битов носителя (кбит/с)	6	3	1,5
Скорость битов пользователя (кбит/с)	4,8	2,4	1,2
Скорость сигнализации (кБод)	1,5		
Длина кадра	140 символов (93,3 мс)		
Последовательность синхронизации	28 символов		
Длина данных	112 символов		
Выравнивание	Двунаправленный КРОС		

4 Блок-схема обработки сигналов

Рисунки 13а и 13б показывают соответственно блок-схемы модулятора и демодулятора.

РИСУНОК 13а

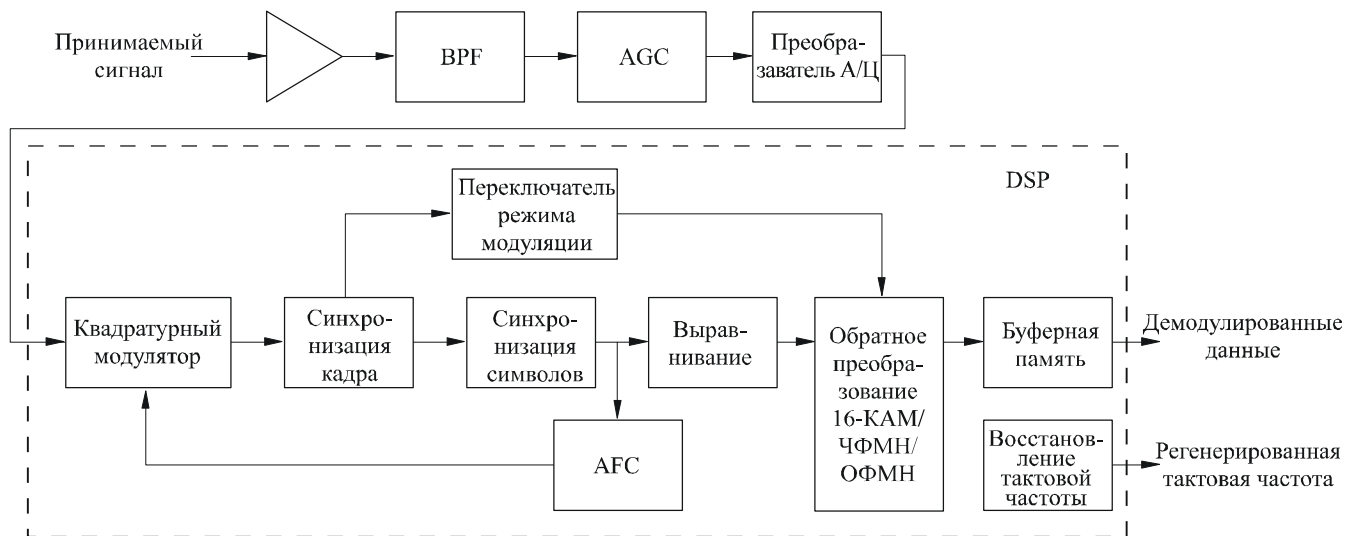
Блок-схема модулятора



DSP: Процессор цифрового сигнала
LPF: Фильтр нижних частот (ФНЧ)

0763-13а

РИСУНОК 13б
Блок-схема демодулятора



AFC: Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)
BPF: Полосовой фильтр (ПФ)

0763-13б

5 Структура кадра

Символы, подлежащие передаче, структурируются в периодических кадрах длительностью 93,3 мс, как показано на рисунке 14.

РИСУНОК 14
Структура кадра



0763-14

6 Правило кодирования и диаграмма сигнально-точечного пространства 16-КАМ

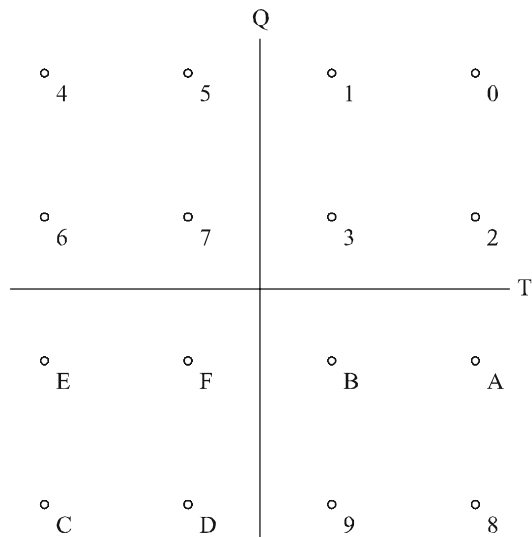
Таблица 2 и рисунок 15 соответственно показывают правило кодирования и диаграмму сигнально-точечного пространства 16-КАМ.

ТАБЛИЦА 2

Правило кодирования 16-КАМ

Четверка битов	Символ
0 0 0 0	0
0 0 0 1	1
0 0 1 0	2
0 0 1 1	3
0 1 0 0	4
0 1 0 1	5
0 1 1 0	6
0 1 1 1	7
1 0 0 0	8
1 0 0 1	9
1 0 1 0	A
1 0 1 1	B
1 1 0 0	C
1 1 0 1	D
1 1 1 0	E
1 1 1 1	F

РИСУНОК 15
 Диаграмма сигнально-точечного пространства 16-QAM



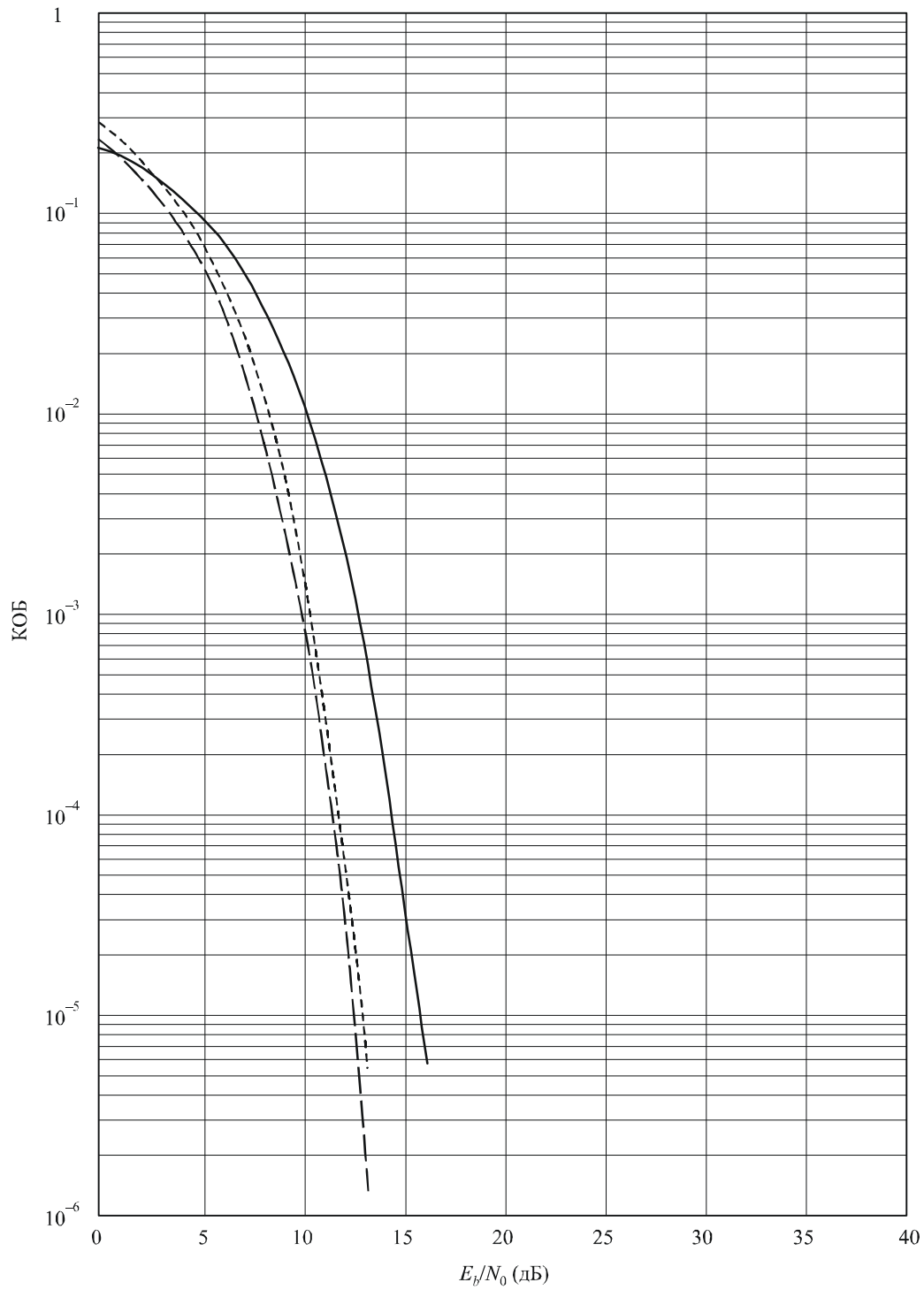
0763-15

7 Данные испытаний

В испытании, описанном ниже, корректор КРОС использовал 14 отводов прямой связи и шесть отводов обратной связи с возможностью выравнивания по максимальной задержке в пять символов. Рисунок 16 показывает испытания в отсутствие замираний в Гауссовском шуме. Испытания с замираниями были проведены в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.520 с равным усилением по каждому тракту и при разностях в задержке распространения по трактам в 0,5–3 мс при скорости замираний 0,5 Гц. Рисунки 17–19 показывают результаты испытаний для коэффициента ошибок по битам в среде с замираниями.

РИСУНОК 16

Коэффициент ошибок по битам (КОБ) в зависимости от спектральной плотности шума для канала без замираний с Гауссовским шумом

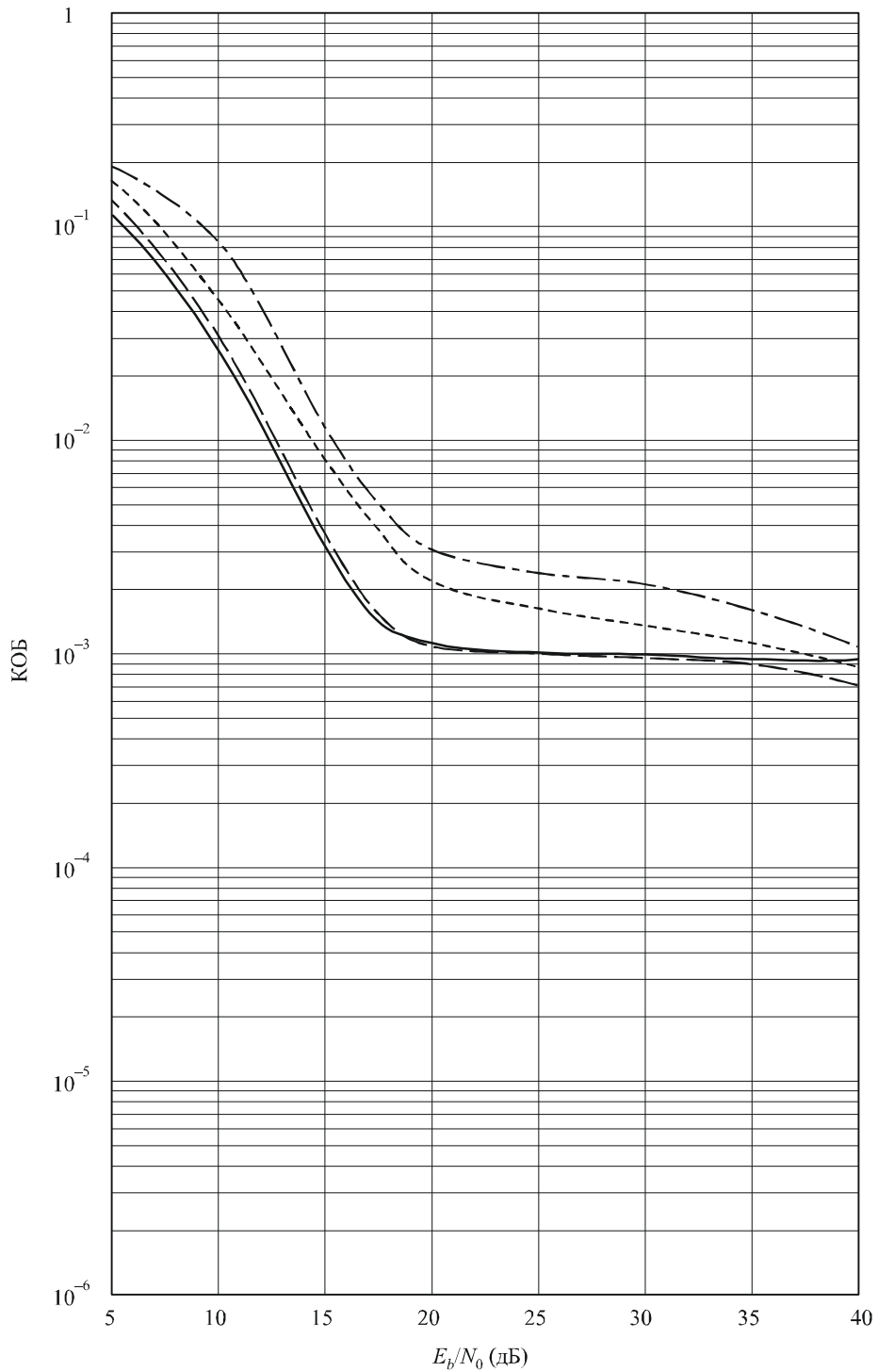


— 16-КАМ
- - - ЧФМН
- · - · - ОФМН

0763-16

РИСУНОК 17

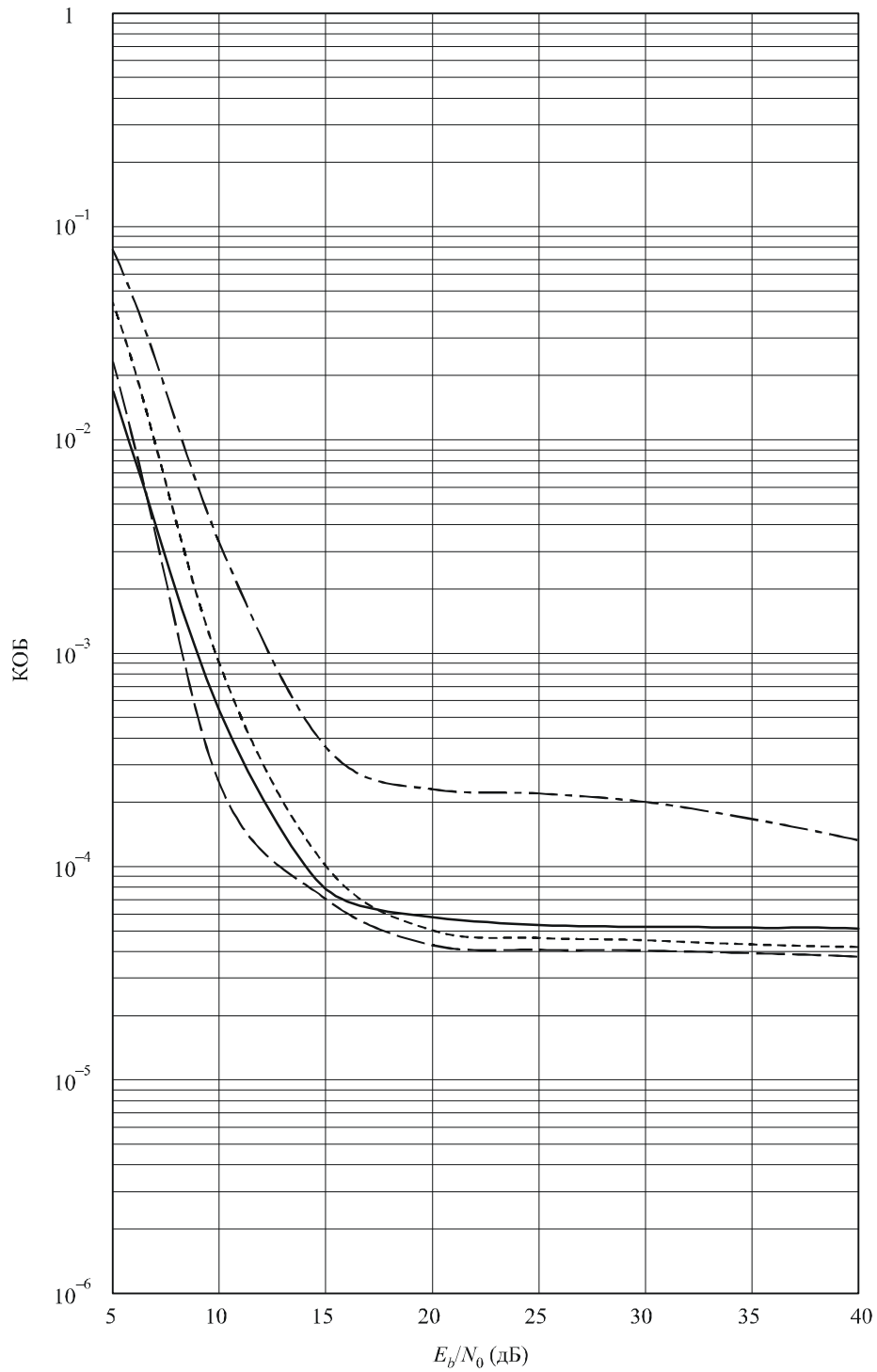
Коэффициент ошибок по битам (КОБ) в зависимости от спектральной плотности шума для канала с замираниями



- Разность задержки: 0,5 мс
- - - Разность задержки: 1,0 мс
- · - · - Разность задержки: 2,0 мс
- · · · · Разность задержки: 3,0 мс

РИСУНОК 18

Коэффициент ошибок по битам (КОБ) ЧФМН в зависимости от спектральной плотности шума для канала с замираниями

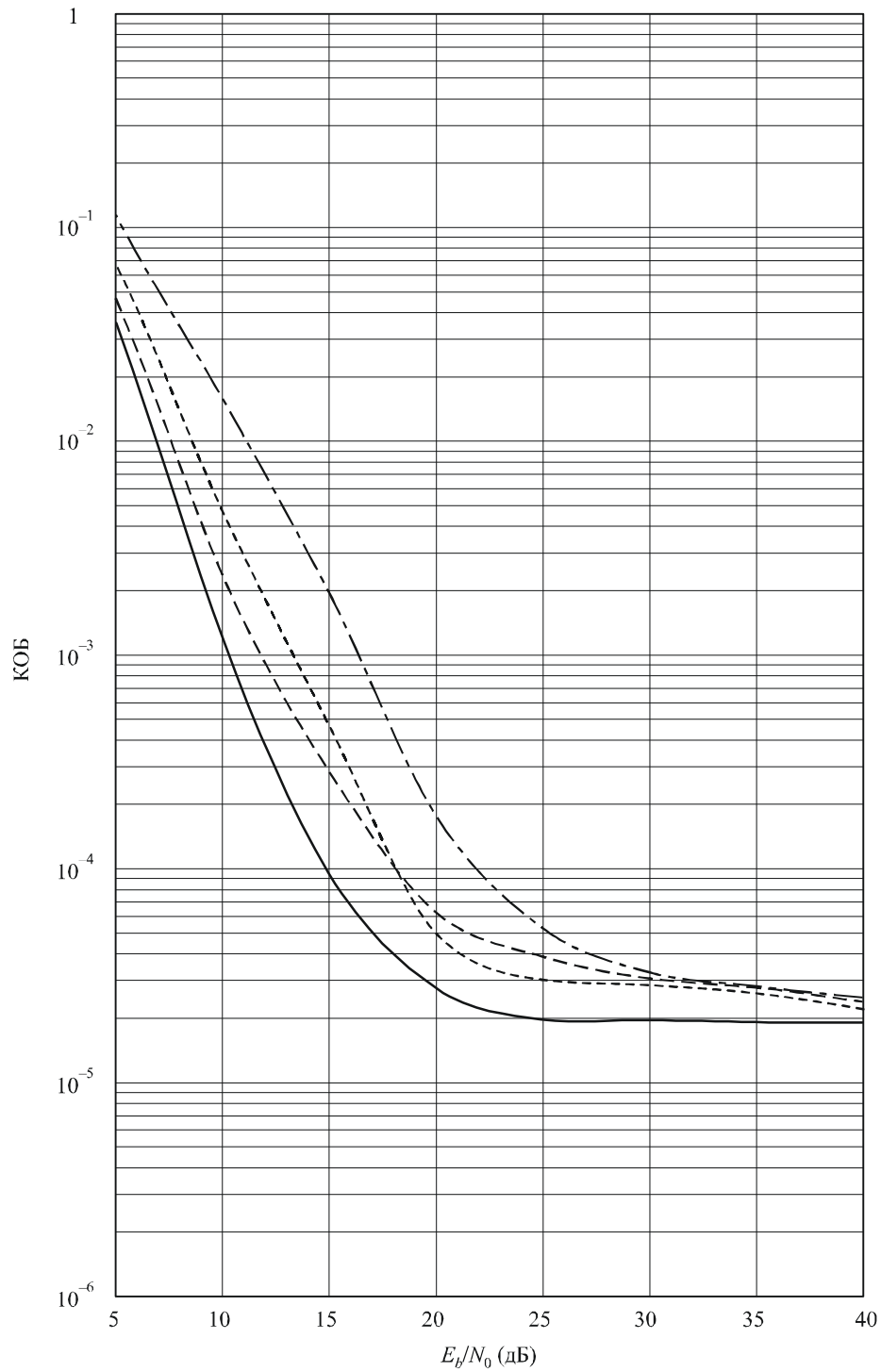


- Разность задержки: 0,5 мс
- - - Разность задержки: 1,0 мс
- · · Разность задержки: 2,0 мс
- · - · Разность задержки: 3,0 мс

0763-18

РИСУНОК 19

Коэффициент ошибок по битам (КОБ) ОФМН в зависимости от спектральной плотности шума для канала с замираниями



- Разность задержки: 0,5 мс
- - - Разность задержки: 1,0 мс
- - - - Разность задержки: 2,0 мс
- · · · · Разность задержки: 3,0 мс

Приложение 6

Формы сигналов высокоскоростной передачи данных со скоростями 3200/4800/6400/8000/9600/12 800 бит/с при использовании последовательного модема по каналам ВЧ

1 Введение

Это Приложение предоставляет подробное описание форм сигналов модема для обеспечения работы в рамках радиосетей ВЧ. Это семейство форм сигналов также известно как STANAG 4539. Семейство самоопределяющихся форм сигналов описывается для кодированной работы со скоростями от 3200 бит/с до 9600 бит/с (с дополнительной работой без кодирования на скорости 12 800 бит/с). Свойство самоопределения¹ этого семейства форм сигналов обеспечивает быстрое приспособление модуляции для отклика на условия изменяющихся каналов. Ключевыми свойствами этой формы сигнала являются:

- Способность отслеживать канал ВЧ с замираниями многолучевости 3–5 мс.
- Способность исправлять ошибки, вызванные замираниями, многолучевостью и шумом.
- Ширина полосы пропускания частот оборудования составляет от 300 до 3050 Гц.
- Автоматическое определение скорости передачи данных и перемежителя.
- Способность допускать сдвиг частоты до ± 75 Гц между несущими частотами ВЧ передачи и приема.

1.1 Обзор

Эта секция представляет форму сигнала и кодирование для скоростей передачи данных 3200, 4800, 6400, 8000, 9600 и для дополнительной работы без кодирования на скорости 12 800 бит/с.

Перемежитель блоков используется для получения шести перемежающихся длин, простирающихся от 0,12 с до 8,64 с. Для всех скоростей передачи данных используется один вариант выбора кодирования, сверточный код со скоростью 1/2, укороченный до скорости 3/4, с длиной кодового ограничения 7. Для получения из этого сверточного кода блочных кодов, которые имеют ту же самую длину, что и перемежитель, используется метод полного отсечения элементов в конце блока.

Установки как скорости передачи данных, так и перемежителя однозначно передаются как часть формы сигнала, обе установки как часть начального заголовка, а затем периодически, как и вновь вставляемый заголовок, так и в периодических известных блоках символов. Это свойство самоопределения является важным в развитии действенных протоколов (АЗП) для каналов ВЧ. Приемный модем способен сделать вывод об установках скорости передачи данных и перемежителя либо из заголовка, либо из последующей порции данных формы сигнала.

1.2 Модуляция

Скорость передачи символов для всех символов составляет 2400 символов/с, которой следует иметь точность как минимум $\pm 0,024$ символа/с (10 частей на миллион), когда тактовая частота передаваемых данных порождается модемом, а не предоставляется окончательным оборудованием данных (ООД). Используются методы модуляции ФМН и КАМ. Поднесущая частота (или пара квадратурных поднесущих частот КАМ) располагается на частоте 1800 Гц с точностью 0,018 Гц (10 частей на миллион). Фаза квадратурной поднесущей частоты относительно синфазной несущей частоты составляет 90°. Мощность спектральной плотности выходного сигнала модулятора ограничивается и находится по меньшей мере на 20 дБ ниже уровня сигнала, измеренного на частоте 1800 Гц, когда испытывается вне полосы от 200 Гц до 3400 Гц. В диапазоне от 800 Гц до 2800 Гц

¹ Символы, посланные в фазах заголовка и пробы канала, указывают скорость передачи данных и глубину перемежителя.

используемому фильтру следует вносить неравномерность не более ± 2 дБ. Используемый фильтр представляет собой фильтр Найквиста типа корня квадратного с $\alpha = 0,35$.

1.2.1 Известные символы

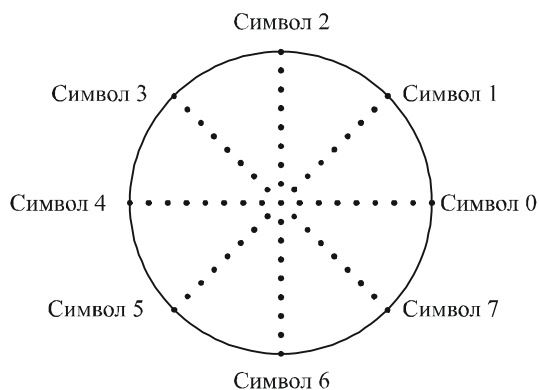
Для всех известных символов используемая модуляция представляет собой ФМН, с преобразованием символов, показанным в таблице 3 и на рисунке 20. Для известных символов скремблирование не применяется.

ТАБЛИЦА 3
Преобразование символов 8-ФМ

Номер символа	Фаза	Синфазный	Квадратурный
0	0	1,000000	0,000000
1	$\pi/4$	0,707107	0,707107
2	$\pi/2$	0,000000	1,000000
3	$3\pi/4$	-0,707107	0,707107
4	π	-1,000000	0,000000
5	$5\pi/4$	-0,707107	-0,707107
6	$3\pi/2$	0,000000	-1,000000
7	$7\pi/4$	0,707107	-0,707107

РИСУНОК 20

Сигнально-точечное пространство и преобразование символов 8-ФМ



0763-20

1.2.2 Символы данных

Для символов данных используемая модуляция будет зависеть от скорости передачи данных. Таблица 4 описывает модуляцию, которая используется с каждой скоростью передачи данных.

ТАБЛИЦА 4

Модуляция, используемая для получения каждой скорости передачи данных

Скорость передачи данных (бит/с)	Модуляция
3 200	ЧФМН
4 800	8-ФМН
6 400	16-КАМ
8 000	32-КАМ
9 600	64-КАМ
12 800	64-КАМ

Оба сигнально-точечных пространства 16-КАМ и 32-КАМ используют многократные кольца ФМН для поддержания хороших соотношений пиковых значений к средним значениям, а созвездие 64-КАМ является вариантом стандартного квадратного сигнально-точечного пространства КАМ, которое было изменено для улучшения соотношения пикового значения к среднему значению.

1.2.2.1 Символы данных ФМН

Для сигнально-точечного пространства ФМН делается различие между битами данных и номером символа для целей скремблирования модуляции ЧФМН, чтобы в режиме излучения она появилась как 8-ФМ. Скремблирование применяется как сложение по модулю 8 последовательности скремблирования с номером символа 8-ФМ. Перекодировка представляет собой операцию, которая связывает символ, подлежащий передаче, с группой битов данных.

1.2.2.1.1 Преобразование символов ЧФМН

Для скорости передачи данных пользователя 3200 бит/с перекодировка достигается путем связывания одного из символов, указанных в таблице 3, с набором двух последовательных битов данных (дибитов), как показано в таблице 5. В этой таблице самый левый бит дибита является самым старым битом, т. е. доставленным из перемежителя перед самым правым битом.

ТАБЛИЦА 5
Перекодировка для 3200 бит/с

Дибит	Символ
00	0
01	2
11	4
10	6

1.2.2.1.2 Преобразование символов 8-ФМН

Для скорости передачи данных пользователя 4800 бит/с перекодировка достигается путем связывания одного символа с набором трех последовательных битов данных (трибитов), как показано в таблице 6. В этой таблице самый левый бит трибита является самым старым битом, т. е. доставленным от перемежителя раньше двух других битов, а самый правый бит является самым поздним битом.

ТАБЛИЦА 6

Перекодировка для 4800 бит/с

Трибит	Символ
000	1
001	0
010	2
011	3
100	6
101	7
110	5
111	4

1.2.2.1.3 Символы данных КАМ

Для сигнально-точечных пространств КАМ не делается отличия между номером, формируемым непосредственно из битов данных и номером символа. Каждый набор из 4 битов (16-КАМ), 5 битов (32-КАМ) или 6 битов (64-КАМ) преобразовывается непосредственно в символ КАМ. Например, группировка из четырех битов 0111 преобразовывалась бы в символ 7 в сигнально-точечном пространстве 16-КАМ, в то время как группировка из шести битов 100011 преобразовывалась бы в символ 35 в сигнально-точечном пространстве 64-КАМ. Опять, в каждом случае самый левый бит является самым старым битом, т. е. доставленным из перемежителя раньше других битов, а самый правый бит является самым поздним битом.

Преобразование битов в символы для сигнально-точечных пространств КАМ было выбрано для сведения к минимуму числа появляющихся ошибок битов, когда ошибки вовлекают смежные точки сигнализации в сигнально-точечном пространстве.

1.2.2.1.4 Сигнально-точечное пространство 16-КАМ

Точки сигнально-точечного пространства, которые существуют для 16-КАМ, показаны на рисунке 21 и описаны в понятиях их синфазных и квадратурных компонентов в таблице 7. Как можно видеть из рисунка, сигнально-точечное пространство 16-КАМ включает в себя два кольца ФМН: внутренние символы 4-ФМН и внешние символы 12-ФМН.

РИСУНОК 21

Сигнально-точечное пространство 16-КАМ

Сигнально-точечное пространство из 16 точек

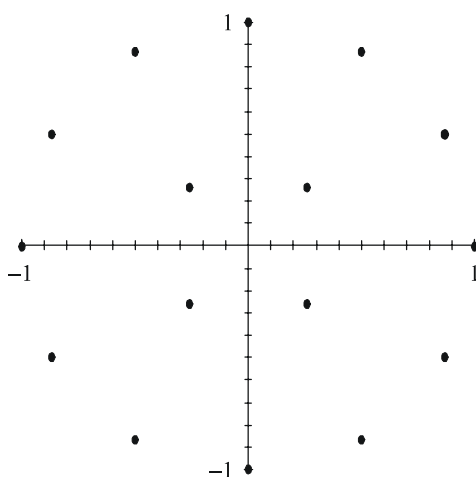


ТАБЛИЦА 7

Синфазный и квадратурный компоненты каждого символа 16-КАМ

Номер символа	Синфазный	Квадратурный
0	0,866025	0,500000
1	0,500000	0,866025
2	1,000000	0,000000
3	0,258819	0,258819
4	-0,500000	0,866025
5	0,000000	1,000000
6	-0,866025	0,500000
7	-0,258819	0,258819
8	0,500000	-0,866025
9	0,000000	-1,000000
10	0,866025	-0,500000
11	0,258819	-0,258819
12	-0,866025	-0,500000
13	-0,500000	-0,866025
14	-1,000000	0,000000
15	-0,258819	-0,258819

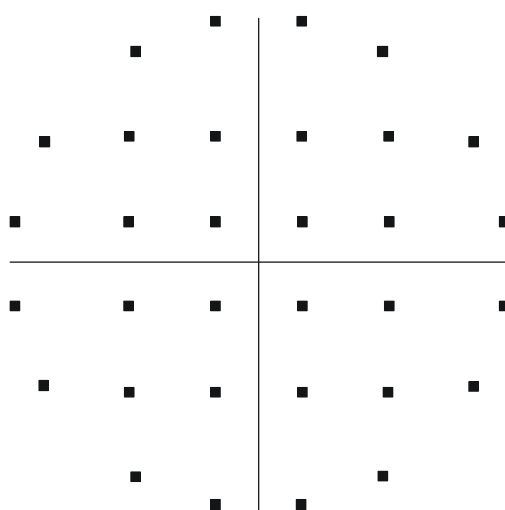
1.2.2.1.5 Сигнально-точечное пространство 32-КАМ

Точки сигнально-точечного пространства, которые используются для 32-КАМ, показаны на рисунке 22 и определены в понятиях их синфазного и квадратурного компонентов в таблице 8. Это созвездие содержит внешнее кольцо из 16 символов и внутренний квадрат из 16 символов.

РИСУНОК 22

Сигнально-точечное пространство 32-КАМ

Сигнально-точечное пространство из 32 точек



0763-22

ТАБЛИЦА 8

Синфазный и квадратурный компоненты для каждого символа 32-КАМ

Номер символа	Синфазный	Квадратурный	Номер символа	Синфазный	Квадратурный
0	0,866380	0,499386	16	0,866380	-0,499386
1	0,984849	0,173415	17	0,984849	-0,173415
2	0,499386	0,866380	18	0,499386	-0,866380
3	0,173415	0,984849	19	0,173415	-0,984849
4	0,520246	0,520246	20	0,520246	-0,520246
5	0,520246	0,173415	21	0,520246	-0,173415
6	0,173415	0,520246	22	0,173415	-0,520246
7	0,173415	0,173415	23	0,173415	-0,173415
8	-0,866380	0,499386	24	-0,866380	-0,499386
9	-0,984849	0,173415	25	-0,984849	-0,173415
10	-0,499386	0,866380	26	-0,499386	-0,866380
11	-0,173415	0,984849	27	-0,173415	-0,984849
12	-0,520246	0,520246	28	-0,520246	-0,520246
13	-0,520246	0,173415	29	-0,520246	-0,173415
14	-0,173415	0,520246	30	-0,173415	-0,520246
15	-0,173415	0,173415	31	-0,173415	-0,173415

1.2.2.1.6 Сигнально-точечное пространство 64-КАМ

Точки сигнально-точечного пространства, которые используются для модуляции 64-КАМ, показаны на рисунке 23 и описаны в понятиях их синфазного и квадратурного компонентов в таблице 9. Это сигнально-точечное пространство является вариантом стандартного квадратного сигнально-точечного пространства 8×8 , которое достигает более хорошего отношения пикового значения к среднему без потери очень хороших свойств псевдокода Грэя (Gray) из квадратного сигнально-точечного пространства.

РИСУНОК 23

Сигнально-точечное пространство 64-КАМ
Сигнально-точечное пространство из 64 точек

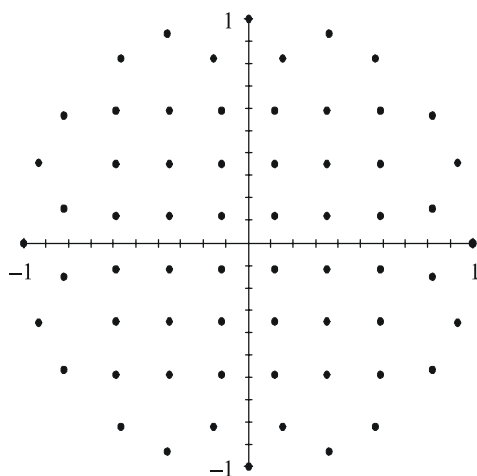


ТАБЛИЦА 9

Синфазный и квадратурный компоненты для каждого символа 64-QAM

Номер символа	Синфазный	Квадратурный	Номер символа	Синфазный	Квадратурный
0	1,000000	0,000000	32	0,000000	1,000000
1	0,822878	0,568218	33	-0,822878	0,568218
2	0,821137	0,152996	34	-0,821137	0,152996
3	0,932897	0,360142	35	-0,932897	0,360142
4	0,000000	-1,000000	36	-1,000000	0,000000
5	0,822878	-0,568218	37	-0,822878	-0,568218
6	0,821137	-0,152996	38	-0,821137	-0,152996
7	0,932897	-0,360142	39	-0,932897	-0,360142
8	0,568218	0,822878	40	-0,568218	0,822878
9	0,588429	0,588429	41	-0,588429	0,588429
10	0,588429	0,117686	42	-0,588429	0,117686
11	0,588429	0,353057	43	-0,588429	0,353057
12	0,568218	-0,822878	44	-0,568218	-0,822878
13	0,588429	-0,88429	45	-0,588429	-0,588429
14	0,588429	-0,117686	46	-0,588429	-0,117686
15	0,588429	-0,353057	47	-0,588429	-0,353057
16	0,152996	0,821137	48	-0,152996	0,821137
17	0,117686	0,588429	49	-0,117686	0,588429
18	0,117686	0,17686	50	-0,117686	0,117686
19	0,117686	0,353057	51	-0,117686	0,353057
20	0,152996	-0,821137	52	-0,152996	-0,821137
21	0,117686	-0,588429	53	-0,117686	-0,588429
22	0,117686	-0,117686	54	-0,117686	-0,117686
23	0,117686	-0,353057	55	-0,117686	-0,353057
24	0,360142	0,932897	56	-0,360142	0,932897
25	0,353057	0,588429	57	-0,353057	0,588429
26	0,353057	0,117686	58	-0,353057	0,117686
27	0,353057	0,353057	59	-0,353057	0,353057
28	0,360142	-0,932897	60	-0,360142	-0,932897
29	0,353057	-0,588429	61	-0,353057	-0,588429
30	0,353057	-0,117686	62	-0,353057	-0,117686
31	0,353057	-0,353057	63	-0,353057	-0,353057

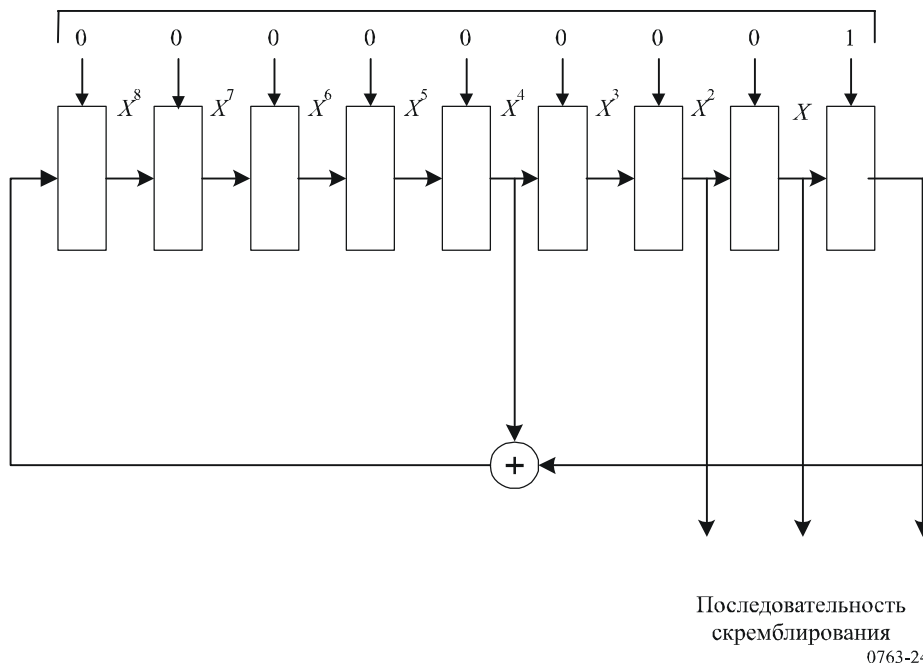
1.2.3 Скремблирование данных

Символы данных для сигнально-точечного пространства символов 8-ФМН (3200 бит/с, 4800 бит/с) скремблируются путем сложения по модулю 8 с последовательностью скремблирования. Символы данных для сигнально-точечных пространств 16-КАМ, 32-КАМ и 64-КАМ скремблируются с использованием операции "исключающее ИЛИ" (XOR). Последовательно биты данных, формирующих каждый символ (4 для 16-КАМ, 5 для 32-КАМ и 6 для 64-КАМ) обрабатываются в операции "исключающее ИЛИ" с равными номерами битов из последовательности скремблирования. Во всех случаях порождающий полином последовательности скремблирования представляет выражение $X^9 + X^4 + 1$, а генератор устанавливается в начальное положение 1 в начале каждого кадра данных. Блок-схема генератора последовательности скремблирования показана на рисунке 24.

РИСУНОК 24

Генератор последовательности скремблирования, изображающий генератор скремблирования для символов 8-ФМН

Установление в начальном состоянии



Для символов 8-ФМН (3200 бит/с и 4800 бит/с) скремблирование осуществляется взятием суммы по модулю 8 от цифрового значения двоичного триплета, состоящего из последних (самых правых) трех битов в регистре сдвига и номера символа (перекодированного значения). Например, если последние три бита в регистре сдвига последовательности скремблирования были 010, которые имели цифровое значение, равное 2, а номер символа перед скремблированием был 6, передавался бы символ 0, поскольку: $(6 + 2)$ по модулю $8 = 0$. Для символов 16-КАМ скремблирование осуществляется с помощью операции "исключающее ИЛИ" с 4-разрядным числом, состоящим из последних (самых правых) четырех битов в регистре сдвига с номером символа. Например, если последние 4 бита в регистре сдвига последовательности скремблирования были 0101, а номер символа 16-КАМ перед скремблированием был 3 (т. е. 0011), передавался бы символ 6 (0110). Для символов 32-КАМ скремблирование осуществляется с помощью операции "исключающее ИЛИ" с 5-разрядным числом, образованным последними (самыми правыми) пятью битами в регистре сдвига с номером символа. Для символов 64-QAM скремблирование осуществляется с помощью операции "исключающее ИЛИ" с 6-разрядным числом, образованным последними (самыми правыми) шестью битами в регистре сдвига с номером символа.

После того, как скремблирован каждый символ данных, генератор осуществляет итерацию требуемое количество раз для производства всех новых битов для использования в скремблировании следующего символа (т. е. три итерации для 8-ФМН, четыре итерации для 16-КАМ, пять итераций для 32-КАМ и шесть итераций для 64-КАМ). Поскольку генератор осуществляет итерацию после использования всех битов, первый символ данных каждого кадра данных следует скремблировать с помощью соответствующего числа битов от значения инициализации 00000001.

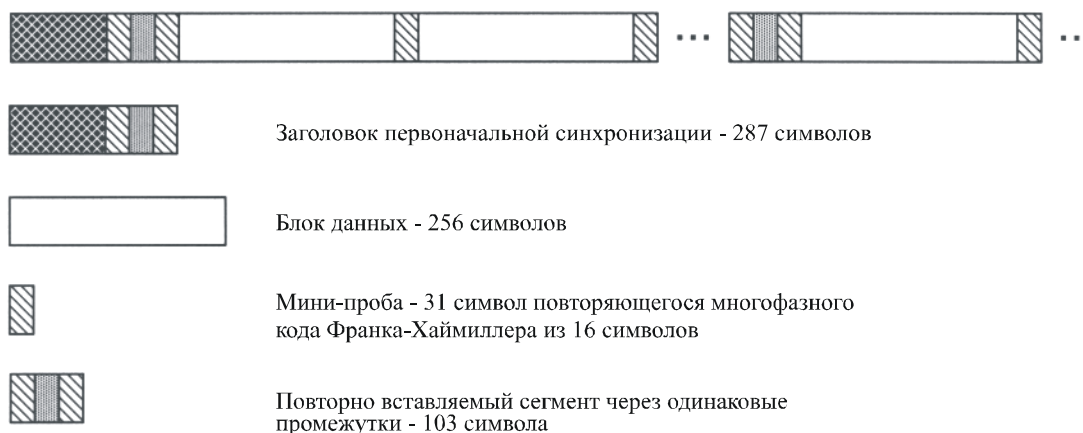
Длина последовательности скремблирования равна 511 битам. Для блока данных в 256 символов с 6 битам на символ это означает, что последовательность скремблирования будет повторена только чуть больше трех раз, хотя в понятиях символов здесь не будет повторения.

1.3 Структура кадра

Структура кадра, которая используется для форм сигналов этого Приложения, показана на рисунке 25. Начальный заголовок из 287 символов сопровождается 72 кадрами переменных данных и известных символов. Каждый кадр данных имеет блок данных, состоящий из 256 символов данных, сопровождаемых мини-пробой из 31 символа известных данных. После 72 кадров данных заново вставляется поднабор 72 символов из первоначального заголовка для облегчения позднего вхождения в синхронизм, удаления сдвига Допплера и корректировки синхронизации. Общая длина известных данных в этом сегменте фактически составляет 103 символа: 72 символа повторно вставляемого заголовка, плюс предшествующий сегмент мини-пробы из 31 символа, который сопровождает последний блок данных 256 символов.

РИСУНОК 25

Структура кадра для всех форм сигналов



0763-25

1.3.1 Синхронизация и повторно вставляемые заголовки

Заголовок синхронизации используется для быстрой начальной синхронизации. Повторно вставляемый заголовок используется для облегчения вхождения в синхронизм продолжающейся передачи (вхождение в синхронизм на данных).

1.3.1.1 Заголовок синхронизации

Заголовок синхронизации состоит из двух частей. Первая часть состоит, по меньшей мере, из N блоков по 184 символов 8-ФМН, подлежащих использованию исключительно для АРУ радио и модема. Значение N конфигурируется для диапазона значений от 0 до 7 (для $N = 0$ эта первая секция вообще не посылается). Эти 184 символов формируются путем взятия комплексно сопряженного числа первых 184 символов последовательности, определяемой ниже для второй секции.

Вторая секция состоит из 287 символов. Первые 184 символа предназначены исключительно для целей синхронизации и устранения сдвига Допплера, в то время как последние 103 символа, которые являются общими с повторно вставляемым заголовком, также переносят информацию, относящуюся к установкам скорости передачи данных и перемежителя. Выраженная как последовательность символов 8-ФМН, с использованием номеров символов, приведенных в таблице 3, вторая секция заголовка синхронизации является следующей:

<p>1, 5, 1, 3, 6, 1, 3, 1, 1, 6, 3, 7, 7, 3, 5, 4, 3, 6, 6, 4, 5, 4, 0, 2, 2, 2, 6, 0, 7, 5, 7, 4, 0, 7, 5, 7, 1, 6, 1, 0, 5, 2, 2, 6, 2, 3, 6, 0, 0, 5, 1, 4, 2, 2, 2, 3, 4, 0, 6, 2, 7, 4, 3, 3, 7, 2, 0, 2, 6, 4, 4, 1, 7, 6, 2, 0, 6, 2, 3, 6, 7, 4, 3, 6, 1, 3, 7, 4, 6, 5, 7, 2, 0, 1, 1, 1, 4, 4, 0, 0, 5, 7, 7, 4, 7, 3, 5, 4, 1, 6, 5, 6, 6, 4, 6, 3, 4, 3, 0, 7, 1, 3, 4, 7, 0, 1, 4, 3, 3, 3, 5, 1, 1, 1, 4, 6, 1, 0, 6, 0, 1, 3, 1, 4, 1, 7, 7, 6, 3, 0, 0, 7, 2, 7, 2, 0, 2, 6, 1, 1, 1, 2, 7, 7, 5, 3, 3, 6, 0, 5, 3, 3, 1, 0, 7, 1, 1, 0, 3, 0, 4, 0, 7, 3,</p> <p>0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2,</p> <p>($D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0, D_0 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0$) По модулю 8</p> <p>($D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1, D_1 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0$) По модулю 8</p> <p>($D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2, D_2 + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0$) По модулю 8</p> <p>6,</p> <p>4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.</p>

где символы данных D_0 , D_1 и D_2 принимают одно значение из 30 наборов значений, выбранных из таблицы 10 для указания установок скорости передачи данных и перемежителя. Операции по модулю предназначены для указания, что каждое из значений D используется для сдвига фазы для длины 13 битов кода Баркера (Barker) (0101001100000) путем осуществления сложения по модулю 8 значения D с каждым из значений фазы 13 кода Баркера (0 или 4). Эта операция может кодировать 6 битов информации, используя модуляцию ЧФМН для 13 битов (элементарный сигнал) кодов Баркера. Поскольку три последовательности кода Баркера занимают только 39 символов, мини-пробы из 31 символа удлиняются до 32 символов каждый для обеспечения дополнительных двух символов, требуемых для заполнения трех символов по 13 битов кодов Баркера вплоть до суммы в 41 символ.

ТАБЛИЦА 10

Значения символов 8-ФМН D_0 , D_1 , D_2 как функция скорости передачи данных и длины перемежителя

Скорость передачи данных (бит/с)	Длина перемежителя в кадрах (блоки данных по 256 символов)					
	1	3	9	18	36	72
3 200	0,0,4	0,2,6	0,2,4	2,0,6	2,0,4	2,2,6
4 800	0,6,2	0,4,0	0,4,2	2,6,0	2,6,2	2,4,0
6 400	0,6,4	0,4,6	0,4,4	2,6,6	2,6,4	2,4,6
8 000	6,0,2	6,2,0	6,2,2	4,0,0	4,0,2	4,2,0
9 600	6,0,4	6,2,6	6,2,4	4,0,6	4,0,4	4,2,6
12 800	6,6,2 ⁽¹⁾	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

N/A: Нет данных

⁽¹⁾ Для скорости 12800 бит/с перемежитель с 1 кадром истолковывается как отсутствие перемежения.

Преобразование, выбранное для создания таблицы 10, использует каждые 3 бита для определения скорости передачи данных и длины перемежителя. Три бита скорости передачи данных являются битами наибольшего значения из 3-дидитных символов, а биты длины перемежителя являются битами наименьшего значения. Фаза кода Баркера определяется из трех результирующих слов дидитов, используя таблицу 5, таблицу перекодирования дидитов. Преобразования 3 битов для скорости передачи данных и длины перемежителя показаны в таблице 11. Отметим, что перекодирование обладает воздействием размещения 3 битов длины перемежителя в квадратуре с 3 битами передачи данных.

ТАБЛИЦА 11

Образцы битов для определения скорости передачи данных и длины перемежителя

Скорость данных	Преобразование 3 битов	Длина перемежителя	Преобразование 3 битов	Название
3 200	001	1 кадр	001	Ультракороткий (US)
4 800	010	3 кадра	010	Очень короткий (VS)
6 400	011	9 кадров	011	Короткий (S)
8 000	100	18 кадров	100	Средний (M)
9 600	101	36 кадров	101	Длинный (L)
12 800	110	72 кадра	110	Очень длинный (VL)

Так как код Баркера является несбалансированным в понятиях количества 0 и 1, эти образцы из 3 битов были выбраны, чтобы избежать образцов 000 или 111 для сведения к минимуму разбалансирования в объединенных трех символах. Более определенно, одно из трех повторений кода Баркера, который появляется на каждом из квадратурных компонентов, всегда является сдвинутым по фазе на 180° относительно других двух. Это приводит к чистому дисбалансу в каждом квадратурном компоненте 39 символов, что всегда составляет 17 к 22 вместо того, чтобы когда-либо быть 12 к 27.

1.3.1.2 Повторно вставляемый заголовок

Повторно вставляемый заголовок идентичен заключительным 72 символам заголовка синхронизации. Фактически заключительные 103 символа являются общими между заголовком синхронизации и смежным блоком, состоящим из повторно вставляемого заголовка и мини-пробы, которая прямо предшествует ему. 103 символа известных данных (включая 31 символ мини-пробы предшествующего кадра данных) таким образом являются:

<p>0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, (D₀, D₀, D₀, D₀, D₀, D₀, D₀, D₀, D₀, D₀, D₀, D₀ + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0) По модулю 8 (D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁, D₁ + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0) По модулю 8 (D₂, D₂, D₂, D₂, D₂, D₂, D₂, D₂, D₂, D₂, D₂, D₂ + 0, 4, 0, 4, 0, 0, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0) По модулю 8 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.</p>

где символы данных D₀, D₁, и D₂ опять принимают одно значение из 30 наборов значений из таблицы 10 для указания установок скорости передачи данных и длины перемежителя, как описано в п. 1.3.1.1. Отметим, что первый 31 из этих символов прямо предшествует мини-пробе, которая сопровождает последние 72 блоков данных.

1.3.2 Мини-пробы

Мини-пробы длиной в 31 символ вставляются, сопровождая каждый блок данных из 256 символов, и в конце каждого заголовка (где они должны считаться как часть заголовка). Используя преобразование символов 8-ФМН, каждая мини-проба основывается на повторяющейся последовательности Франка-Хаймиллера (Frank-Heimiller). Используемая последовательность, определенная в понятиях номеров символов 8-ФМН, дается выражением:

$$0, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 4, 6, 0, 4, 0, 4, 0, 6, 4.$$

Эта мини-проба будет обозначена знаком "+". Версия этой последовательности с инвертированной фазой есть:

$$4, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0, 6, 4, 4, 4, 4, 6, 0, 2, 4, 0, 4, 0, 4, 2, 0.$$

и мини-проба, использующая эту последовательность, будет обозначена знаком "-", поскольку фаза каждого символа была повернута на 180° от последовательности "+".

Имеется общее количество 73 мини-пробы для каждого набора 72 блоков данных. Для удобства, каждая мини-проба последовательно нумеруется, с мини-пробой 0, которая определена как последний 31 символ предшествующего (повторно вставляемого) заголовка, мини-пробой номер 1, сопровождающей первый блок данных после (повторно вставляемого) заголовка. Мини-проба 72 сопровождает 72-й блок данных и также является первым блоком 31 символа из следующих 103 символов повторно вставляемого заголовка. Мини-пробы 0 и 72 были определены как часть повторно вставляемого заголовка, чтобы соответственно иметь знаки – и +. Информация о скорости передачи данных и длине перемежителя, кодированная в заголовке синхронизации и в повторно вставляемых заголовках, также должна быть закодирована в мини-пробах с 1 по 72. Эти 72 минипробы группируются в четыре набора из 18 последовательных мини-проб (от 1 до 18, от 19 до 36, от 37 до 54 и от 55 до 72). Отметим, что блок данных из 256 символов, который прямо сопровождает 18-ю мини-пробу, в каждом из первых трех наборов, является также 1-м блоком данных блока перемежителя с длинами кадров 1, 3, 9 и 18. Блок перемежителя длиной 36 начинается после второго набора, а повторно вставленный заголовок начинается после четвертого набора. Эта структура разрешает начинать демодуляцию данных, как только становится известной граница перемежителя.

Каждая 18 последовательность мини-пробы состоит из семи знаков $-$, знака $+$, за которыми следуют шесть знаковых значений, которые зависят от скорости передачи данных и длины перемежителя, три знаковых значения, которые определяют, какой из четырех наборов 18 мини-проб присутствует, и затем в конце знак $+$. Для четвертого набора этот заключительный знак $+$ (мини-проба 72) также является начальной мини-пробой следующего повторно вставляемого заголовка (который использует фазу $+$).

С помощью иллюстрации, эта последовательность длины 18 представляет собой: $-----+ S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8 +$, где первые шесть знаковых значений S_i определяются в таблице 12. Отметим, что эти образцов из 6 битов ($+$ есть 0) соответствуют сцепке преобразований 3 битов из таблицы 11 для скорости передачи данных ($S_0 S_1 S_2$) и для длины перемежителя ($S_3 S_4 S_5$). Заключительные три знаковые значения S_i , которые определяют набор мини-проб (счет), определяются в таблице 13.

ТАБЛИЦА 12

Значения (знаковые) $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ как функция установок скорости передачи данных и длины перемежителя

Скорость передачи данных (бит/с)	Длина перемежителя в кадрах (блоки данных из 256 символов)					
	1	3	9	18	36	72
3 200	++-++-	++-+-+	++-+--	++-+++	++-+-+	++----+
4 800	+--++-	+--+-+	+--+--	+--+++	+--+-+	+------+
6 400	+--++-	+--+-+	+--+--	+--+++	+--+-+	+------+
8 000	-+++-+	-+++-+	-+++-+	-+++-+	-+++-+	-+++-+
9 600	-+++-+	-+++-+	-+++-+	-+++-+	-+++-+	-+++-+
12 800	--+++-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

ТАБЛИЦА 13

Значения (знаковые) S_6, S_7, S_8 как функция набора мини-проб

Набор мини-проб			
От 1 до 18	От 19 до 36	От 37 до 54	От 55 до 72
++-	+++	+-	-++

Первые восемь мини-проб в каждом наборе ($-----+$) уникальным образом определяют место начальной точки для следующих девяти значений S_i . Это возможно, поскольку используемые последовательности S_i , содержат по большей части четыре фазы $+$ или $-$. Это дает возможность для последовательности из семи мини-проб с той же самой фазой, сопровождаемой одной последовательностью с фазой противоположного направления, иметь место где-нибудь еще, за исключением начала одной из 18 последовательностей мини-проб. Как только этот фиксированный образец из восьми мини-проб обнаружен, фазовая неопределенность 0° или 180° также решается, поэтому следующие девять мини-проб могут быть должным образом преобразованы в скорость передачи данных, длину перемежителя и счет набора мини-проб. Полная последовательность мини-проб является следующей:

[rp]-----+ $S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8$ +-----+ $S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8$ + -----+ $S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8$ +-----+ $S_0 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8$ [rp]

где [rp] представляет 103 символа повторно вставляемого заголовка (включает в себя мини-пробы 72 и 0).

1.4 Кодирование и перемежение

Перемежитель является перемежителем блоков. Каждый блок входных данных также кодируется с использованием метода блочного кодирования с размером кодового блока, равным размеру перемежителя блока. Таким образом, биты входных данных будут посылаться как последовательные блоки из битов, которые расширяют длительность выбранной длины перемежителя. Таблица 14 показывает количество битов входных данных на блок как функцию и скорости передачи данных, и длины перемежителя. Отметим, что "блок входных данных" не следует путать с блоком данных из 256 символов, который является частью кадра данных в формате формы сигналов. Биты из блока входных данных будут преобразованы путем кодирования и перемежения в количество кадров данных, и таким образом, в блоки данных из 256 символов, которые определяют длину перемежителя.

ТАБЛИЦА 14

Размер блока входных данных в битах как функция скорости передачи данных и длины перемежителя

Скорость передачи данных (бит/с)	Длина перемежителя в кадрах					
	1	3	9	18	36	72
	Количество битов входных данных на блок					
3 200	384	1 152	3 456	6 912	13 824	27 648
4 800	576	1 728	5 184	10 368	20 736	41 472
6 400	768	2 304	6 912	13 824	27 648	55 296
8 000	960	2 880	8 640	17 280	34 560	69 120
9 600	1 152	3 456	10 368	20 736	41 472	82 944

1.4.1 Выравнивание границы блока

Каждый кодовый блок чередуется в пределах одного блока перемежителя одинакового размера. Границы этих блоков выравниваются таким образом, что началу первого кадра данных, сопровождающего каждый повторно вставляемый заголовок, следует совпадать с границей перемежителя. Таким образом, для длины перемежителя в три кадра, первые три кадра данных, сопровождающие повторно вставляемый заголовок, будут содержать все из кодированных битов для одного входного блока данных. Первый символ данных из первого кадра данных в каждом наборе перемежителя будет иметь в качестве своего бита наибольшего значения первый бит, выбранный из перемежителя.

1.4.2 Кодирование блока

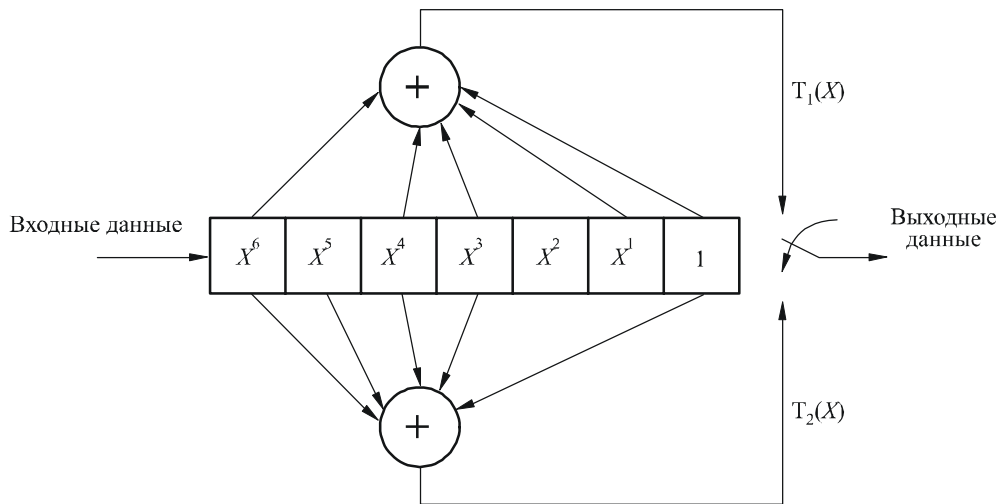
Используются методы полного отсечения конечных элементов и укорочения со сверточным кодом $1/2$ скорости для порождения блочного кода $3/4$ скорости, который имеет ту же самую длину, что и перемежитель.

1.4.3 Сверточный код $1/2$ скорости

Перед укорочением используется ограниченный длиной 7, сверточный код $1/2$ скорости. Рисунок 26 является иллюстрированным представлением кодера. Используются два порождающих полинома:

РИСУНОК 26

Сверточный кодер 1/2 скорости, ограниченной длиной 7



$$T_1 = X^6 + X^4 + X^3 + X + 1$$

$$T_2 = X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + 1$$

0763-26

Два узла суммирования на рисунке представляют сложение по модулю 2. Для каждого бита, введенного в кодер, два бита берутся из кодера, при этом верхний выходной бит, $T_1(X)$, берется первым.

1.4.3.1 Кодирование с полным отсечением конечных элементов

Чтобы начать кодирование каждого блока входных данных, кодер предварительно загружается путем сдвига первых шести битов входных данных без выведения каких-либо выходных битов. Эти шесть входных битов временно сохраняются так, чтобы их можно было использовать для "очистки" кодера. Первые два закодированные выходные бита берутся после того, как был введен седьмой бит, и будут определены как первые два бита результирующего блочного кода. После того, как был закодирован последний бит входных данных, кодируются первые шесть "сохраненных" битов данных. Отметим, что регистру сдвига кодера не следует изменяться перед кодированием этих сохраненных битов, т. е. его следует заполнить последними семью битами входных данных. Шесть "сохраненных" битов данных кодируются путем сдвига их в кодер по одному, начиная с самого раннего из шести. Кодирование таким образом продолжается путем взятия двух результирующих закодированных выходных битов по мере того, как вводится каждый из сохраненных шести битов. Эти закодированные биты являются заключительными битами результирующего (не укороченного) блочного кода. Перед укорачиванием (прокальванием) результирующий блочный код будет иметь в точности в два раза больше битов, чем входные информационные биты. Укорочение кода 1/2 скорости до требуемой скорости 3/4 осуществляется перед отправкой битов в перемежитель.

1.4.3.2 Укорочение до скорости 3/4

Чтобы получить код 1/2 скорости из используемого кода 3/4 скорости, выходной сигнал кодера должен быть проколот путем отсутствия передачи 1 бита из каждых 3 битов. Укорочение осуществляется путем использования маски прокальвания из 1 1 1 0 0 1, примененной к битам, выводимым из кодера. В этом обозначении 1 указывает, что бит сохраняется, 0 указывает, что бит не передается. Для кодера, порождающего последовательность вида:

$$T_1(k), T_2(k), T_1(k+1), T_2(k+1), T_1(k+2), T_2(k+2) \dots$$

переданная последовательность была бы вида:

$$T_1(k), T_2(k), T_1(k+1), T_1(k+2) \dots$$

При определении $T_1(0)$, $T_2(0)$ в качестве первых двух битов блочного кода, порожденного так, как определено в п. 1.4.2, значение k в вышеуказанных последовательностях является общим множителем 3. Блочный код укорачивается таким способом перед введением в перемежитель.

1.4.4 Структура перемежителя блока

Используемый перемежитель блока разработан для разделения соседних битов в укороченном блочном коде в максимально возможной степени по диапазону перемежителя с наибольшими разнесениями, полученными для битов, которые были первоначально наиболее близки друг к другу. Из-за 30 различных сочетаний скоростей передачи данных и длин перемежителей необходима гибкая структура перемежителя.

1.4.4.1 Размер перемежителя в битах

Перемежитель состоит из одномерной матрицы, пронумерованной от 0 до своего размера в битах -1 . Размер матрицы зависит и от скорости передачи данных, и от длины перемежителя, выбранной, как показано в таблице 15.

ТАБЛИЦА 15

Размер перемежителя в битах как функция скорости передачи данных и длины перемежителя

Скорость передачи данных (бит/с)	Длина перемежителя в кадрах					
	1	3	9	18	36	72
	Размер перемежителя в битах					
3 200	512	1 536	4 608	9 216	18 432	36 864
4 800	768	2 304	6 912	13 824	27 648	55 296
6 400	1 024	3 072	9 216	18 432	36 864	73 728
8 000	1 280	3 840	11 520	23 040	46 080	92 160
9 600	1 536	4 608	13 824	27 648	55 296	110 592

1.4.4.2 Загрузка перемежителя

Биты укороченного блочного кода загружаются в матрицу перемежителя, начиная с местоположения 0. Местоположение для загрузки каждого последующего бита получается из предыдущего местоположения путем увеличения на "значение увеличения перемежителя", определенное в таблице 16, модуль "размер перемежителя в битах".

При определении первого бита укороченного блочного кода как $V(0)$ местоположение загрузки для $V(n)$ дается выражением:

$$\text{Местоположение загрузки} = (n * \text{Значение приращения перемежителя}) \text{ Модуль (Размер перемежителя в битах)}$$

Таким образом, для скорости 3200 бит/с, с перемежителем одного кадра (размером 512 битов с приращением 97), первыми 8 местоположениями загрузки перемежителя являются: 0, 97, 194, 291, 388, 485, 70 и 167.

ТАБЛИЦА 16

Значение приращения перемежителя как функция скорости передачи данных и длины перемежителя

Скорость передачи данных (бит/с)	Длина перемежителя в кадрах					
	1	3	9	18	36	72
	Значение приращения перемежителя					
3 200	97	229	805	1 393	3 281	6 985
4 800	145	361	1 045	2 089	5 137	10 273
6 400	189	481	1 393	3 281	6 985	11 141
8 000	201	601	1 741	3 481	8 561	14 441
9 600	229	805	2 089	5 137	10 273	17 329

Эти значения приращения были выбраны, чтобы гарантировать, что объединенные циклы укорочения и назначения позиций битов в каждом символе для определенного используемого сигнально-точечного пространства являются одинаковыми, как будто не было никакого перемежения. Это важно, потому что каждый символ сигнально-точечного пространства содержит "сильные" и "слабые" позиции битов, кроме самой нижней скорости передачи данных. Позиция бита относится к местоположению бита, простираясь от бита наибольшего значения до бита наименьшего значения, в преобразовании символа. Сильная позиция бита – это позиция, которая имеет большое среднее расстояние между всеми точками сигнально-точечного пространства, где бит есть 0, а самая близкая точка, где он есть 1. Как правило, бит наибольшего значения является сильным битом, а бит наименьшего значения – слабым битом. Стратегия перемежения, которая равномерно не распределяла эти биты способом, при котором они имеют место без перемежения, могла бы ухудшить показатели качества.

1.4.4.3 Выборка перемежителя

Последовательность выборки для всех скоростей передачи данных и длин перемежителей начинается с местоположения 0 из матрицы перемежителя и увеличивает местоположение выборки на 1. Это является простой линейной выборкой от начала до конца матрицы перемежителя.

1.5 Эксплуатационные свойства и протоколы сообщений

Формат этой формы сигнала при высокоскоростной передаче данных был разработан, чтобы разрешить ему хорошо работать с большинством протоколов, используемых и запланированных для использования с ВЧ. Повторно вставляемый заголовок облегчает вхождение в синхронизм (или повторное вхождение в синхронизм) продолжающейся вещательной передачи. Короткая длина заголовка синхронизации, широкий диапазон длин перемежения и использование кодирования с полным отсечением элементов в конце блока предназначены для обеспечения эффективной работы с протоколами АЗП. Чтобы далее расширять работу с этими протоколами, в модем ВЧ включаются следующие эксплуатационные свойства.

1.5.1 Начало передачи

Модем начинает передачу не позднее 100 мс после того, как он получил полный блок входных данных (достаточно битов, чтобы заполнить кодированный и перемежаемый блок), или после получения последнего бита входных данных, в зависимости от того, что происходит сначала. Последнее произошло бы только тогда, когда сообщение короче, чем один блок перемежителя. Передача определяется как начало манипуляции радио, сопровождаемой выходным сигналом формы волны заголовка после конфигурированной задержки перед манипуляцией, если это имеет место.

Задержка между моментом, когда модем получает первый бит входных данных и началом передачи, будет в значительной степени зависеть от средств для доставки битов входных данных к модему. Синхронный последовательный интерфейс на скорости передачи данных пользователя будет иметь самую большую задержку. По этой причине желательно, чтобы использовался высокоскоростной асинхронный интерфейс (последовательный порт или порт Ethernet) с управлением потоком данных, если эта задержка является предметом заботы для специфического приложения.

1.5.2 Конец сообщения

Использование сообщения о конце (EOM) в передаваемой форме сигнала является вариантом выбора с перестраиваемой конфигурацией. Когда было выбрано использование сообщения EOM, 32-разрядный образец EOM добавляется после последнего бита входных данных сообщения. Сообщение EOM, выраженное в шестнадцатеричной системе исчисления, есть 4B65A5B2, где самый левый бит посылается первым. Если последний бит сообщения EOM не заполняет блок входных данных, то остающиеся биты в блоке входных данных устанавливаются в нуль перед кодированием и перемежением блока.

Если использование сообщения EOM было запрещено, и последний бит входных данных не заполняет блок входных данных, то остающиеся биты в блоке входных данных устанавливаются в нуль перед кодированием и перемежением блока. Ожидается, что использование сообщения EOM будет запрещено только тогда, когда протокол данных АЗП использует блоки АЗП, которые полностью заполняют (или почти так) выбранный размер блока входных данных (блок перемежителя). Без этой особенности использование сообщения EOM требовало бы при этих обстоятельствах передачи дополнительного блока перемежителя.

1.5.3 Завершение передачи

Модему следует завершить передачу только после передачи заключительного кадра данных, включая мини-пробу, связанную с заключительным блоком перемежителя. Отметим, что кадр данных состоит из блока данных с 256 символами, сопровождаемого мини-пробой. Должны быть также учтены любые задержки обработки и/или фильтрации сигналов в модеме и передатчике ВЧ (как часть ключевой линейной управляющей синхронизации), чтобы гарантировать, что полная заключительная мини-проба передается прежде, чем выключается питание передатчика.

1.5.4 Завершение обработки принимаемых данных

Есть множество событий, которые могут заставить модем ВЧ прекратить обработку полученного сигнала для восстановления данных и возвратиться к режиму вхождения в синхронизм. Они необходимы, потому что модем не способен запрашивать новую передачу, в то время как он пытается демодулировать и декодировать данные.

1.5.4.1 Обнаружение сообщения EOM

Модему ВЧ всегда следует просматривать все декодированные биты в поисках 32-разрядного образца сообщения EOM, определенного в п. 1.5.2. После обнаружения сообщения EOM, модем возвратится к режиму вхождения в синхронизм. Модем должен продолжать доставлять декодированные биты пользователю (ООД), пока не был доставлен заключительный бит, непосредственно предшествующий сообщению EOM.

1.5.4.2 Получение определенного количества блоков данных

Максимальная продолжительность сообщения, измеренная в количестве блоков входных данных (блоков перемежителя) является конфигурируемым параметром. Установка этого параметра в нуль будет определять, что может быть получено неограниченное количество. Как только модем декодировал и доставил пользователю (ООД) количество битов, соответствующих конфигурированной максимальной продолжительности сообщения, модему ВЧ следует возвратиться к режиму вхождения в синхронизм и закончить доставку декодированных битов пользователю (ООД). Операция с указанным количеством блоков входных данных может использоваться протоколом АЗП, где размер пакета АЗП является фиксированным, или иногда изменен для приспособления к изменяющимся условиям распространения. В этом случае ожидается, что этот параметр (максимальная продолжительность сообщения) нужно послать приемному концу линии в качестве части протокола АЗП. Он мог бы затем послан приемному модему через интерфейс дистанционного управления, так как это не вложено в форму сигнала непосредственно, как это сделано с параметрами скорости передачи данных и длины перемежителя.

1.6 Возможности показателей качества

В этом разделе представлены возможности показателей качества для режима высокоскоростной передачи данных. Эти результаты испытаний демонстрируют, что модем работает надежно через цепи ВЧ в условиях испытанных ухудшений.

1.6.1 Характеристики имитатора

Высокоскоростной режим передачи данных был испытан с использованием имитатора основной полосы частот ВЧ, по образцу модели Watterson в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.1487. В качестве источника шума использовался аддитивный белый Гауссовский шум (AWGN). Мощности, как сигнала, так и шума измерялись в ширине полосы частот 3 кГц.

1.6.2 Радиофильтры

Были использованы фильтры конечного импульсного отклика (FIR), которые отражают требования по полосе пропускания радиочастот. Фильтр представляет собой фильтр FIR с $N = 63$ со следующими коэффициентами (читать сначала поперек, затем вниз) и имеет частоту опроса 16 000 отсчетов/с:

3,4793306E-04	-4,6615634E-05	3,6863006E-05	6,8983925E-04
1,2186785E-03	7,1322870E-04	-6,2685051E-04	-1,1305640E-03
3,8082659E-04	2,2257954E-03	1,0150929E-03	-3,6258003E-03
-6,9094691E-03	-4,2534569E-03	1,1371180E-03	-1,0868903E-04
-1,1312117E-02	-2,2036370E-02	-1,8856425E-02	-4,9115933E-03
-1,3025356E-03	-2,1579735E-02	-4,8379221E-02	-4,8040411E-02
-1,4815010E-02	9,8565688E-03	-2,0275153E-02	-9,223589E-02
-1,1587973E-01	-2,2672007E-02	1,6315786E-01	3,1537800E-01
3,1537800E-01	1,6315786E-01	-2,2672007E-02	-1,1587973E-01
-9,0223589E-02	-2,275153E-02	9,8565688E-03	-1,4815010E-02
-4,8040411E-02	-4,379221E-02	-2,1579735E-02	-1,3025356E-03
-4,9115933E-03	-1,8856425E-02	-2,2036370E-02	-1,1312117E-02
-1,0868903E-04	1,1371180E-03	-4,2534569E-03	-6,9094691E-03
-3,6258003E-03	1,0150929E-03	2,2257954E-03	3,8082659E-04
-1,1305640E-03	-6,2685051E-04	7,1322870E-04	1,2186785E-03
6,8983925E-04	3,863006E-05	-4,6615634E-05	3,4793306E-04

1.6.3 Показатели качества по коэффициенту ошибок по битам (КОБ)

Показатели качества по коэффициенту ошибок по битам (КОБ) были измерены с использованием радиофильтров, с помощью имитатора канала ВЧ, запрограммированного для моделирования следующих каналов для коэффициента КОБ порядка 1×10^{-4} :

- Канал AWGN состоит из одного тракта без замираний. Каждое состояние измерялось в течение 15 минут.
- Канал Райса (Rice) состоит из двух независимых, но равных по средней мощности трактов, с фиксированной задержкой между трактами в 2 мс. Первый тракт был без замираний. Второй был трактом с замираниями Рэлея (Rayleigh), имевший ширину полосы частот при замираниях 2 Гц со среднеквадратичным отклонением (сигма), равным двум. Каждое состояние измерялось в течение 2 часов.

- Состояние "средних возбужденных широт" Рекомендации МСЭ-R F.1487 (Плохой канал) представляет собой два независимых, но равных по средней мощности трактов с замираниями Рэлея, с фиксированной задержкой между трактами в 2 мс и с шириной полосы частот при замираниях 1 Гц со среднеквадратичным отклонением (сигма), равным двум. Каждое состояние измерялось в течение 2 часов.

Измеренные показатели качества с использованием максимального периода перемежения ("Очень длинный" перемежитель на 72 кадра), при всех состояниях, перечисленных для кодированного коэффициента КОБ 1×10^{-4} , показаны в таблице 17.

ТАБЛИЦА 17

**Испытания показателей качества для высокоскоростного режима
передачи данных для КОБ 1×10^{-4}**

Скорость передачи данных пользователя (бит/с)	Среднее отношение сигнал-шум (дБ) для коэффициента КОБ, не превышающего 10^{-4}		
	Канал AWGN	Канал Райса	Плохой канал
12 800 ⁽¹⁾	27	–	–
9 600	21	30	30
8 000	19	25	26
6 400	16	21	23
4 800	13	17	20
3 200	9	12	14

⁽¹⁾ Дополнительная скорость передачи данных.

1.6.4 Показатели качества при сдвиге Доплера

Во время испытаний показателей качества при сдвиге Доплера модем осуществлял вхождение в синхронизм и поддерживал синхронизацию по меньшей мере 5 минут с испытательным сигналом, имеющим следующие характеристики: 9600 бит/с/очень длинный перемежитель, смещение частоты ± 75 Гц, разброс задержки 2 мс, ширина полосы частот при замираниях 1 Гц и среднее отношение сигнал-шум 30 дБ.

1.7 Связанное оборудование связи

Сигнально-точечные пространства КАМ, описанные в этом Приложении, являются более чувствительными к изменениям оборудования, чем сигнально-точечные пространства ФМН, описанные в другом месте в этой Рекомендации. Из-за этой чувствительности радиофильтры будут иметь существенное влияние на показатели качества модемов, реализующих формы сигналов высокоскоростной передачи данных. Кроме того, из-за природы сигнально-точечных пространств, чувствительных к уровню, переходные процессы включения, автоматическая регулировка усиления (APU) и автоматическая регулировка уровня (ALC) могут вызвать существенное снижение показателей качества.