

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СПИ

С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципов построения и характеристик многоканальных систем передачи информации с временным разделением каналов.

2. КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Задачей многоканальных систем связи является одновременная передача сообщений от многих источников с помощью одного общего тракта. При этом для передачи каждого сообщения используются вспомогательные сигналы, образующие ортогональное множество. Сигналы $s_i(t)$ и $s_j(t)$, существующие на интервале времени $0 \leq t \leq T$ и имеющие одинаковую энергию E , ортогональны, если выполняется условие:

$$\int_0^T s_i(t)s_j(t)dt = \begin{cases} E & \text{при } i = j \\ 0 & \text{при } i \neq j. \end{cases}$$

Данное условие, в частности, выполняется, если сигналы не перекрываются по времени, или не перекрываются их спектры. Известны также ортогональные сигналы, перекрывающиеся и по времени и по частоте. В этом случае ортогональность достигается за счет специальной формы сигналов, в частности, за счет специальной модуляции.

Ниже рассматриваются принципы построения многоканальных систем с временным разделением каналов (ВРК) [3]. Их основой является теорема Котельникова, согласно которой сигнал, имеющий спектр, ограниченный частотой F_B , можно без потери информации полностью описать его отсчетами, взятыми с интервалом (рис. 1)

$$\Delta t \leq 1/2F_B.$$

Рассмотрим спектр дискретного сигнала. Его можно легко определить, если представить получаемый после взятия отсчетов дискретный сигнал

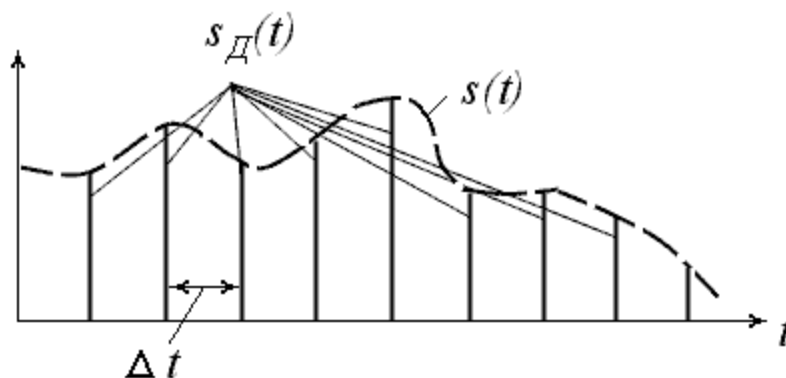


Рис.1. Дискретное представление $s_D(t)$ непрерывного сообщения $s(t)$

$s_D(t)$ как произведение непрерывного сигнала $s(t)$ и дискретной

периодической функции $\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - k\Delta t)$:

$$s_D(t) = s(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - k\Delta t),$$

где $\delta(t)$ - дельта-функция. Известно [1], что спектр произведения двух сигналов определяется сверткой спектров сомножителей. На рис.2

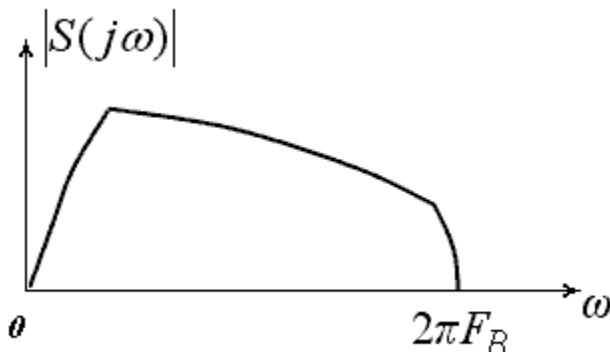


Рис.2. Амплитудный спектр непрерывного сообщения

качественно представлен амплитудный спектр $|S(j\omega)|$ сообщения $s(t)$, а на рис.3 – спектр $|S_D(j\omega)|$ периодической последовательности дельта функций, также являющийся периодической функцией частоты. Их свертка приводит к спектру, изображенному на рис.4. Как следует из анализа рис.4, спектр дискретного сообщения содержит исходный спектр $S(j\omega)$ и его можно без искажений выделить идеальным фильтром нижних частот (ФНЧ)

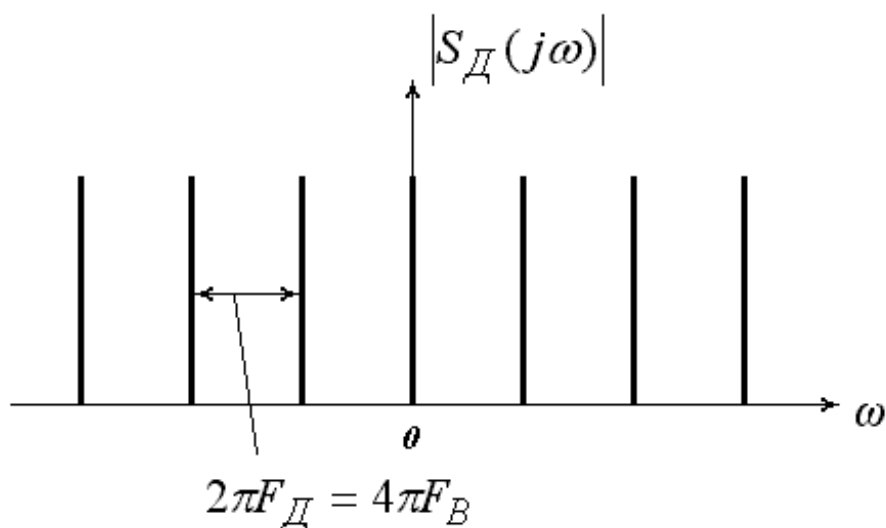


Рис.3. Спектр периодической последовательности дельта функций

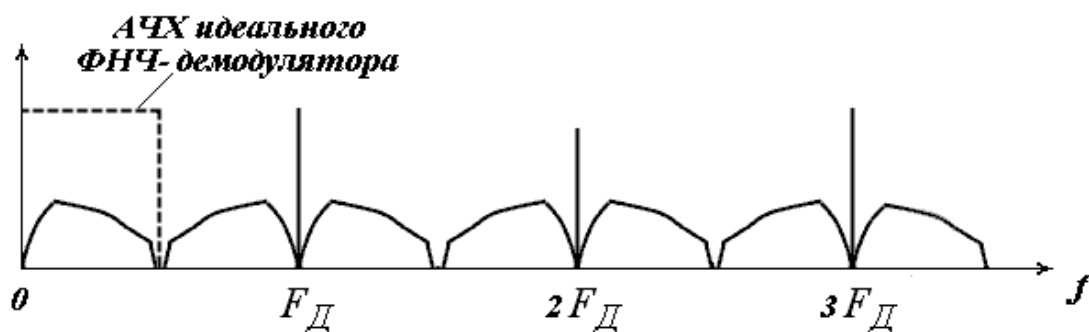


Рис.4. Амплитудный спектр дискретного сообщения

с прямоугольной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). Это дает возможность использовать такой фильтр в качестве демодулятора сигналов импульсной модуляции. Однако реальные фильтры (рис.5) имеют на частотах выше $F_D/2$ ненулевой коэффициент передачи, что приводит к искажениям исходного сообщения. Эти искажения можно оценить величиной относительного среднего квадрата ошибки [3,4],

$$\delta_D^2 = \frac{\int_{\pi F_D}^{\infty} |S_D(j\omega)K(j\omega)|^2 d\omega}{\int_0^{\infty} |S_D(j\omega)K(j\omega)|^2 d\omega},$$

где $K(j\omega)$ - коэффициент передачи выходного восстанавливающего фильтра нижних частот.

В реальных СПИ в роли сигнала-переносчика информации

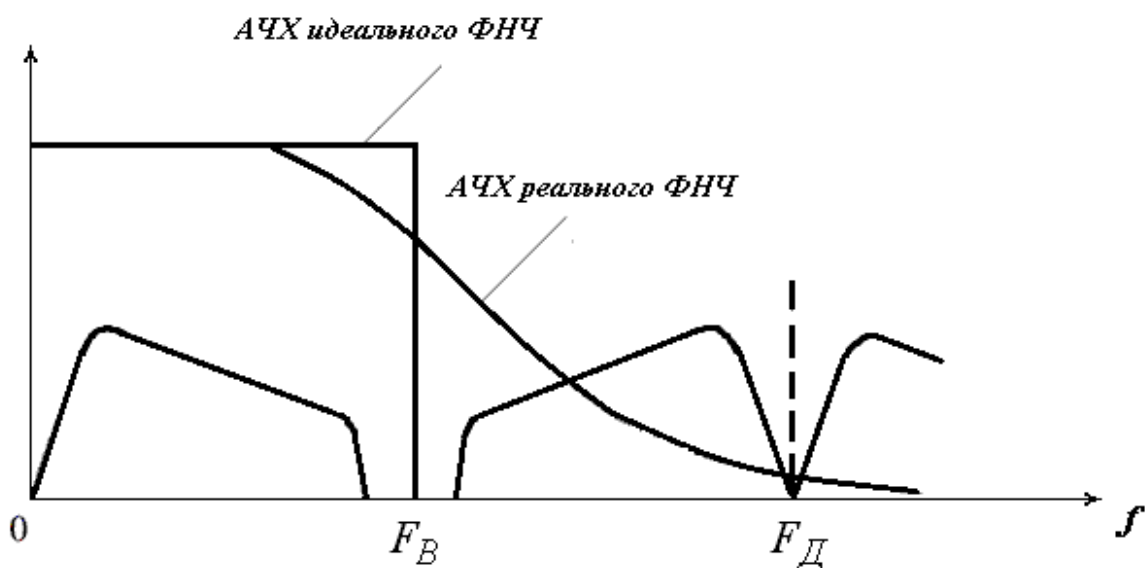


Рис.5. Влияние АЧХ реального ФНЧ

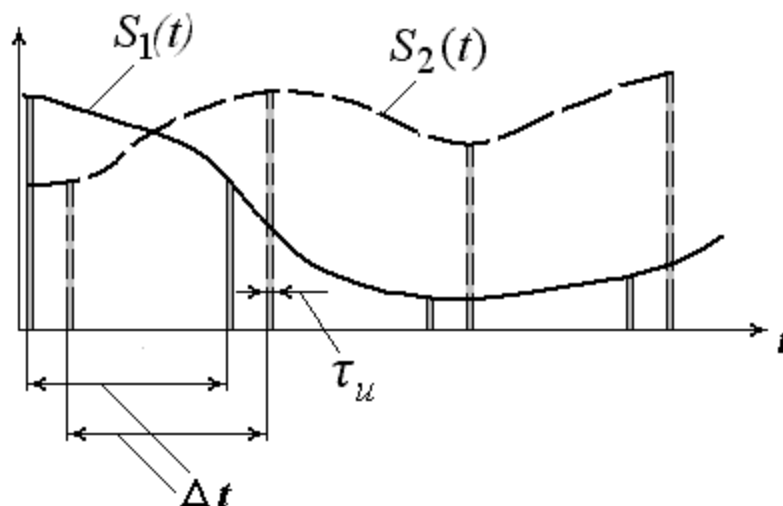


Рис.6. Иллюстрация принципа временного разделения каналов

используются импульсы малой длительности (рис.6), период следования которых равен интервалу Котельникова Δt , а длительности отвечают условию $\tau_u \ll \Delta t$. Высокая скважность позволяет использовать интервалы между импульсами - носителями сообщения данного канала - для передачи сообщений других каналов. Возможность использования временного интервала Δt для передачи многих сообщений иллюстрируется рис.6 на примере передачи двух непрерывных сообщений $s_1(t)$ и $s_2(t)$.

Общая временная структура сигнала при ВРК, содержащего сообщения n источников и называемого групповым сигналом, приведена на рис.7. Период взятия отсчетов Δt разбивается на временные интервалы - циклы T_1, T_2, \dots, T_n , отводимые для размещения информационных импульсов отдельных каналов. В каждом периоде работы длительности Δt , называемом кадром, им предшествует временной промежуток T_{KCC} , используемый для передачи кадрового синхронизирующего сигнала (КСС). В каждом цикле выделяется относительно небольшой промежуток времени t_3 , называемый защитным временным интервалом. В процессе формирования канальных сигналов и КСС их элементы не должны попадать в пределы этих интервалов. Тем самым вводится защита от перекрестного проникновения сообщений разных каналов.

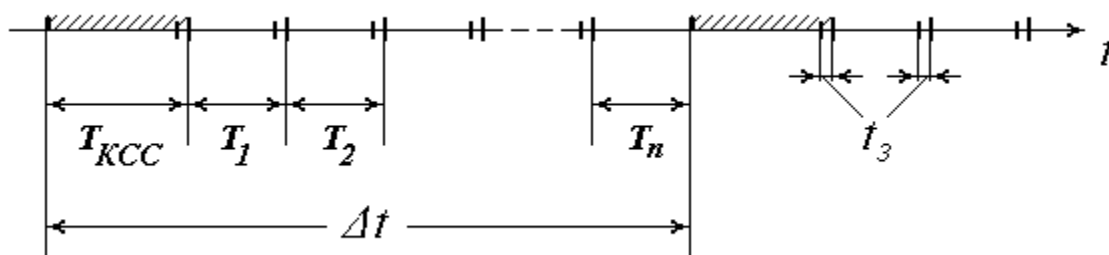


Рис.7. Структура группового сигнала при ВРК

К формам информационных импульсов и КСС предъявляются требования их хорошей различимости. Это дает возможность в приемном устройстве СПИ сначала выделить КСС из группового сигнала и, тем самым, определить момент начала кадра, а затем использовать его для определения положения временных отрезков T_1, T_2, \dots, T_n канальных сигналов с последующей селекцией каждого из этих сигналов.

Рассмотренное преобразование аналогового сообщения в дискретную форму называют амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ). Существуют и другие виды импульсной модуляции. К их числу относится широтно-импульсная модуляция (ШИМ), при которой амплитуда импульсов остается постоянной, а длительности пропорциональны отсчетным значениям

сообщения. Еще одной разновидностью импульсной модуляции является времяимпульсная (ВИМ), или фазоимпульсная (ФИМ) модуляция. Сигналы ВИМ могут быть получены, например, из сигналов ШИМ, если в моменты окончания импульсов ШИМ формировать стандартные импульсы с постоянными амплитудой и длительностью. Очевидно, их временное смещение в каждом кадре будет пропорционально отсчетным значениям передаваемого сообщения. Сигнал ВИМ качественно изображен на рис.8. При нулевом значении модулирующего отсчета импульс находится в центре рабочего интервала длительности T_i , выделенного в многоканальной СПИ для передачи данного сообщения (изображен непрерывной линией). При ненулевом управляющем воздействии происходит пропорциональное его смещение на величину δt влево или вправо, в зависимости от знака воздействия. На рис.8 возможное положение импульса изображено штриховой линией. Предельное отклонение δt_M , которое может иметь импульс при модуляции, не превышает длительности выделенного полуинтервала $(T_i - t_3)/2$; соответствующий этому импульс изображен в виде штрих пунктирной линии. Основной характеристикой ВИМ является индекс модуляции

$$m_{ВИМ} = \frac{\delta t_M}{\tau_{uCF}},$$

где τ_{uCF} – длительность информационного импульса (рис.8) после согласованного фильтра (СФ). При ВИМ процедура радиоприема сводится фактически к определению времени прихода информационного импульса в каждом периоде работы системы связи. В соответствии с полученной оценкой времени прихода затем формируется стандартный импульс, последовательность которых, получаемая в разных периодах работы СПИ, используется далее для выделения информационных спектральных компонент при помощи фильтра нижних частот. Уровень выходного шума при таком радиоприеме определяется дисперсией временных флюктуаций указанных оценок времени прихода импульсов, для минимизации которой в

приемнике применяется фильтр, согласованный с информационным импульсом.

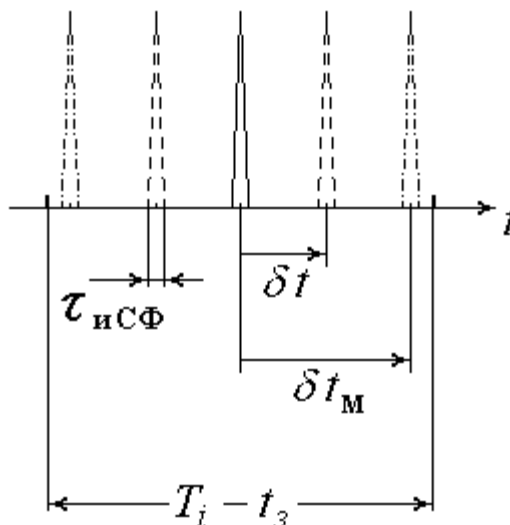


Рис.8. Сигнал ВИМ на выходе согласованного фильтра приемника

Если дискретный отсчет непрерывного сообщения преобразовать с помощью аналого-цифрового преобразователя в двоичный код и затем передать его в отведенном для данного канала временном интервале, то получим импульсно-кодую модуляцию (ИКМ). Таким образом, каналы с ИКМ осуществляют цифровую передачу непрерывных сообщений [2].

Следует отметить, что в радиотехнических СПИ (РТСПИ) сигналами с импульсной модуляцией, в свою очередь, модулируют высокочастотный гармонический сигнал-переносчик информации. При этом могут использоваться амплитудная, фазовая или частотная модуляция. Следовательно, в РТСПИ применяется двухступенчатая модуляция: АИМ-АМ, ВИМ-АМ, ИКМ-ЧМ и др.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Структурная схема лабораторного макета приведена на рис.9. В верхней части рисунка представлена структура передающей части СПИ, в нижней – приемной. В верхней части также показана линия связи, которая

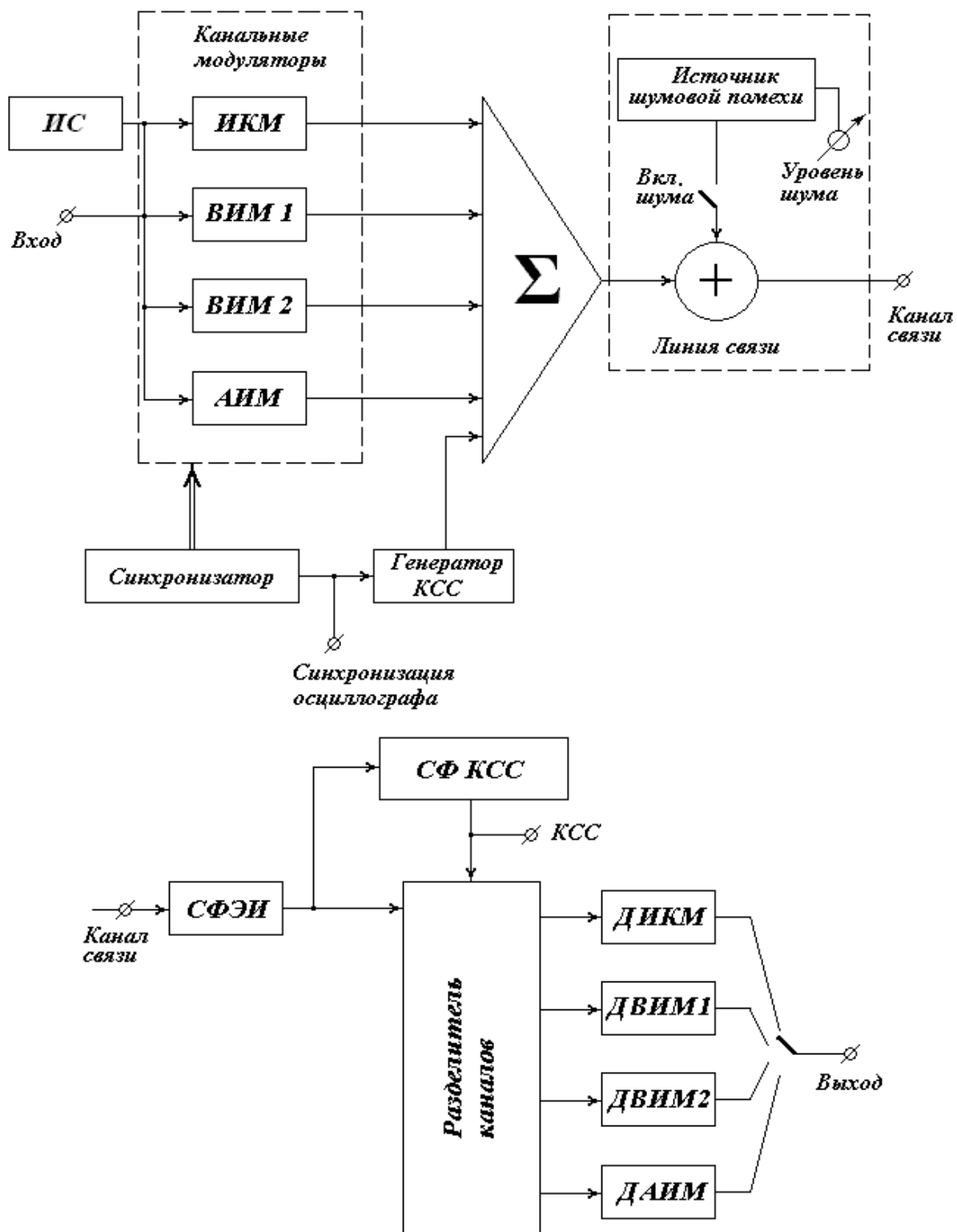


Рис.9. Структурная схема лабораторного макета

содержит источник шумовой помехи (белый гауссовский шум), аддитивно воздействующей на полезный сигнал. Предусмотрена регулировка уровня

помехи, а также возможность ее отключения при проведении тех или иных экспериментов.

В учебном макете отсутствует переход на высокую частоту, т.е. изучаются процессы, связанные с первой ступенью модуляции и демодуляции. СПИ, изучаемая в работе, содержит четыре канала с различными видами модуляции: ИКМ, два канала с ВИМ (ВИМ 1 и ВИМ 2) и АИМ. Особенностью лабораторного макета является также использование общего источника сообщения (ИС) для передачи по всем каналам. Различие ВИМ 1 и ВИМ 2 состоит в том, что модулирующее напряжение поступает на их входы в противофазе. В канале с ИКМ отсчеты сообщения представляются при помощи восьмиразрядного двоичного кода. Указанные технические решения преследуют методические цели, поскольку они позволяют сравнить СПИ с различными видами импульсной модуляции.

В качестве синхронизирующего в лабораторном макете применяется сигнал на основе пятиэлементного кода Баркера (его кодовая комбинация: +1 +1 +1 -1 +1). Соответствующий импульсный сигнал вырабатывается генератором КСС. Общее управление работой передающей части СПИ осуществляет синхронизатор, решая задачи размещения во времени КСС и канальных импульсов.

Приемное устройство СПИ содержит согласованный фильтр элементарного импульса (СФЭИ), согласованный фильтр сигнала синхронизации (СФ КСС), разделитель каналов и четыре канальных демодулятора ДИКМ, ДВИМ1, ДВИМ2 и ДАИМ.

Лабораторный макет имеет контактные гнезда, обеспечивающие наблюдение сигналов в различных точках СПИ. Выходное гнездо при помощи переключателя может быть соединено с выходом одного из канальных демодуляторов.

4. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Вариант 1. Рассчитать параметры группового сигнала для 4-канальной

СПИ с ВРК, использующей ВИМ, если $F_B=3,4$ кГц, индекс временной модуляции $m_{ВИМ}=3$. Для синхронизации используется пятиэлементный код Баркера, а для передачи информации – простые импульсы. Результаты расчета пояснить рисунком.

Вариант 2. Рассчитать параметры группового сигнала для 4-канальной СПИ с ВРК, использующей ИКМ с восьмиэлементным кодированием отсчетов, если $F_B=3,4$ кГц. Для синхронизации используется пятиэлементный код Баркера, а для передачи элементов информационного кода – простые импульсы. Результаты расчета пояснить рисунком.

Вариант 3. Рассчитать параметры группового сигнала для 4-канальной СПИ с ВРК, использующей АИМ, если $F_B=3,4$ кГц. Для синхронизации используется пятиэлементный код Баркера, а для передачи информации – простые импульсы. Результаты расчета пояснить рисунком.

Вариант 4. Определить выходной сигнал СФ КСС при поступлении на его вход:

- а) синхронизирующего сигнала на основе пятиэлементного кода Баркера;
- б) сигнала ИКМ, кодовая комбинация которого соответствует максимальному значению передаваемого сообщения.

Оценить вероятность того, что кодовая комбинация сигнала ИКМ совпадет с кодовой комбинацией КСС.

5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Зарисовать осциллограммы сигналов в контрольных гнездах макета при отсутствии модулирующего сигнала и при его подаче.
2. Определить коэффициент сжатия синхроимпульса при его согласованной фильтрации.

Примечание. Коэффициентом сжатия называют отношение длительностей входного и выходного импульсов согласованного фильтра.

3. Измерить период повторения тактовых импульсов и рассчитать теоретическое значение верхней частоты F_B в спектре передаваемого сообщения.
4. Определить максимальную амплитуду входного сообщения, при которой отсутствуют его искажения на выходе системы, а также отсутствует взаимное влияние каналов с времяимпульсной модуляцией.
5. Определить индекс времяимпульсной модуляции.
6. Измерить сквозную амплитудно–частотную характеристику всей системы в интервале частот $0 < f < F_B$ для трех видов модуляции.
7. Определить полосу пропускания системы. Сравнить с результатом пункта 3 лабораторного задания.
8. Установить уровень шума, при котором не возникают аномальные ошибки. Зарисовать осциллограммы напряжений на выходе приемника при действии шума. Измерить ОСШ канальных демодуляторов, используя правило “3 сигма”. Сравнить помехоустойчивость различных видов импульсной модуляции.
9. По результатам экспериментов сделать выводы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие сигналы называются ортогональными? Как ортогональность сигналов реализуется в многоканальных СПИ с временным разделением каналов?
2. Сопоставьте возможности уплотнения каналов при АИМ, ВИМ, ИКМ.
3. Для чего при ВРК используется защитный временной интервал? Каковы требования к его величине?
4. Каковы механизмы воздействия шумовой помехи на передачу сообщений при АИМ, ВИМ, ИКМ?
5. Дайте характеристику основных источников помех при ИКМ (шум канала связи, эффекты дискретизации и квантования при аналого-цифровом преобразовании).

6. Сформулируйте теорему В.А. Котельникова. Как используется эта теорема при получении (формировании) сигналов импульсной модуляции?
7. В чем заключается принцип разделения каналов при ВРК? Какую роль при этом играет сигнал синхронизации? Какие требования предъявляются к нему?
8. Назовите основные виды импульсной модуляции. В чем они заключаются и как взаимосвязаны?
9. Нарисуйте спектр сигнала с АИМ и объясните его особенности.
10. С какой целью сообщение при использовании импульсной модуляции подвергают предварительной фильтрации?
11. Поясните принцип работы демодуляторов, используемых при ИКМ, ВИМ, АИМ.
12. Какое влияние оказывают характеристики реальных ФНЧ, используемых в качестве демодуляторов сигналов импульсной модуляции, на качество восстановления непрерывного сообщения? Как рассчитать ошибки, вызванные неидеальностью ФНЧ?

7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков.- М.: Высш. шк. - 2003. – 536с.
2. Скляр Б. Цифровая связь / Б.Скляр.- М.: Изд. дом «Вильямс». - 2003. – 1104с.
3. Радиосистемы передачи информации: Уч. пособие для вузов /В.А. Васин и др. – М. – Горячая линия – Телеком. – 2005. – 471с.
4. Радиотехнические системы передачи информации: Уч. пособие для вузов/ В.А.Борисов, В.В.Калмыков, Я.М.Ковальчук и др.; Под ред. В.В.Калмыкова/ - М. – Радио и связь. – 1990. – 304с.