**Тема 5. Методы разделения каналов**

5.1 Методы разделения каналов: пространственное, линейное (частотное, временное), по форме. Условие линейного разделения каналов. Сигналы переносчики и модуляция их параметров.

5.2 Многоканальные системы телекоммуникаций с частотным разделением каналов. Методы формирования канальных сигналов.

5.3 Многоканальные системы телекоммуникаций с временным разделением каналов. Сравнительный анализ аналого-импульсных методов модуляции.

***5.1 Методы разделения каналов: пространственное, линейное (частотное, временное), по форме. Условие линейного разделения каналов.***

В многоканальных системах тракты всех сигналов должны быть разде­лены каким-либо способом, чтобы сигнал каждого источника мог попасть в соответствующий приемник. Такая процедура носит название *разделения каналов* или *раз­деления канальных сигналов*.

*Мультиплексирование* (англ. MUX) – процедура объединения (уплотнения) канальных сигналов в МСП.

Процедура обратная мультиплексированию связана с разделением каналов – *демультиплексирование* (англ. DMX или DeMUX).

MUX + DMX = MULDEX - *«мульдекс»*



**Классификация методов разделения каналов**

Все используемые *методы разделения каналов* можно классифицировать на *линейные* и *нелинейные* (см. рисунок).



Рисунок - Классификация методов разделения каналов

В МСП выделяют следующие методы разделения каналов:

- *про­странственное (схемное);*

- *линейные: частотное – ЧРК, временное – ВРК, разделение каналов* *по* *форме – РКФ;*

- *нелинейные: приводимые к линейным и мажоритарные.*

**5.1.1 Пространственное разделение.**

Это простейший вид разделения, при котором каждому каналу отводится индивидуальная линия связи:



Рисунок - МСП с пространственным разделением каналов

ИИ – источник информации

ПИ – приемник информации

ЛС - линия связи

Другие формы разделения каналов предполагают передачу сообщений по одной линии связи. В связи с этим многоканальную передачу называют также *уплотнением каналов*.

**5.1.2 Методы линейного разделение каналов**

К *линейным* относятся методы, при которых операции разделения осуществляются *линейными устройствами*.

Для осуществления линейного разделения каналов необходимо и достаточно, чтобы канальные сигналы составляли *ансамбль линейно независимых сигналов*. В качестве таких сигналов часто используют *ансамбль ортогональных сигналов*.

Для пояснения принципа линейного разделения каналов воспользуемся обобщённой схему МСП.



Рисунок – Обобщённая структурная схема многоканальной системы передачи (МСП)

***1) На передающей стороне*** первичные сиг­налы *Сi(t),* поступающие на входы каналов системы передачи. Данные сигналы могут одновременно существовать в одинаковых или перекрывающихся спектрах частот. В устройствах *Мi* осуществля­ется формирование отличающихся друг от друга канальных сигна­лов *Si(t). Процесс преобразование* первичного сигнала *Ci(t)* в канальный *Si(t)* можно представить аналитически

*Si(t) = Mi[Ci(t)], (1)*

где *Мi*-оператор, осуществляющий преобразование *i*-го первичного сигнала в i-й канальный сигнал. Как правило, преобразование *Мi* осуществляется путем *модуляции* сигналом *Ci(t)* некоторого сигнала *ψi(t),* называемого *переносчиком.* Как известно, *процесс модуляции* можно представить, как умножение модулирующего сигнала *Ci(t)* на переносчик *ψi(t).* Если принять, что сигнал *Ci(t)* представляет собой медленно меняющуюся функцию времени *Ci* остающейся постоян­ной на периоде переносчика *ψi(t),* то процесс формирования i-го можно записать в виде

*Si(t) = Ciψi(t). (2)*

Рассмотрим аддитивную линейную N–канальную систему передачи, в которой что групповой сигнал *Sгр(t)* получается путем суммирования канальных сигналов *Si(t)*, т. е.

 (3)

***2) На приемное стороне*** разделяющие устройства Фi представляют *линейные четырех­полюсники*, действие которых описывается *линейным оператором* Фi Операцию разделения и преобразования сигналов на приеме можно описать выражением

= (4)

В аддитивных линейных МСП оператор разделения Фi является линейным и поэтому (4) можно представить в виде

= (5)

Условие разделения сигналов (4) с учетом (4) можно записать следующим образом:

== (6)

Выражение (6) показывает, что *с помощью линейного операто­ра Фi* *i*‑го канала из группового сигнала *выделяется только i-й ка­нальный сигнал Si(t)* и что на выходе *i*-гo канала сигналов, передающихся по другим каналам, **не будет**. Затем с помощью устройства *Д*i *i*-й канальный сигнал преобразуется в *i*-й первичный сигнал *C*i*(t).*

**Условия линейного разделения каналов**

Чтобы канальные сигналы удовлетворяли *условию разделения* (6), они должны быть *линейно независимыми*. Канальные сигналы как функции времени, S1*(t)=C1ψ1(t),* S2*(t)=C2ψ2(t), …, SN(t)=CNψN(t)* будут *линейно независимыми*, если *нельзя подобрать* такие числовые *коэффициенты* *C1, C2...CN*, *не равные нулю*, для которых

*C1ψ1(t)* + C*2ψ2(t)* +...+ *CNψN(t)*≡ 0. (7)

Действительно, коэффициенты *C1, C2,... СN* характеризуют амплиту­ду первичных сигналов, которую, как допускалось выше, можно счи­тать постоянной на периоде переносчика *ψ1(t).* Если канальные *Ciψi(t)* сигналы линейно зависимы, то при некоторых значения коэффи­циентов *Ci* можно получить *Sгр(t)=* *С1ψ1(t)*+*С2ψ2(t)+...+СNψN(t) =* 0. При этом, *,* т.е. условия разделения (6) не выполня­ется. Тождество (7) возможно лишь при *С1=С2 ... СN = 0.*

Следовательно, для получения линейно независимых канальных сигналов необходимо использовать *линейно независимые перенос­чики* *ψ1(t),* так как канальные сигналы *представляют собой модули­рованные переносчики*.

Можно показать, что к линейно независимым относятся, напри­мер, следующие последовательности функций:

 (8)

если *Ai* и *αi* - вещественные числа

**Пример:**

Для функций вида *ψ1(t) = -1; ψ2(t)*= *cos 2ωt; ψ3(t)*= sin *2ωt* имеем ***ψ1(t) + ψ2(t) + ψ3(t)***= -1 + *cos2 ωt + sin2ωt* ***=******0****,* что означает их линейную зависимость. Линейное разделение функций такого вида невозмож­но, и их, следовательно, нельзя использовать в качестве перенос­чиков для формирования канальных сигналов.

В общем случае критерий линейной независимости функций *ψ1(t)...ψN(t),* определенных на интервале 0 ≤ *t ≤ Т,* дается теоремой Грама, которая формулируется следующим образом.

**Теорема**: для того чтобы функции *ψ1(t), ψ2(t),..., ψN(t) были линейно неза­висимыми,* необходимо и достаточно, чтобы *был отличен от нуля* *определитель матрицы* ||a*ij*||, элементы которой определены соот­ношением

a= (9)

Таким образом, условие линейной независимости функций *ψi(t)* можно записать в следующей форме:

G (10)

где *G [ ]* называется определителем Грама.

Из множества функций, удовлетворяющих условию (18), выде­ляется класс *ортогональных функций.* Функции *ψi(t)* (i=*0, 1,2,.., N)* называются *ортогональными* с весом р*(t)* на интервале *0...Т,* если они удовлетворяют следующим условиям:

 (11)

где *р (t) -* некоторая фиксированная неотрицательная функция, не зависящая от индексов *i* и *j*; *кj2* - постоянная величина, пропорцио­нальная среднеквадратичному значению или средней мощности *j*-го сигнала. Для некоторого класса ортогональных функций весовая функция р*(t)* = *1.*

Известно много классов функций, удовлетворяющих условию ор­тогональности.

1) В МСП *c временным разделением каналов - ВРК* ортогональные функции представляют собой последовательности прямоугольных импульсов, не пересекающихся во времени.

2) В МСП *c частотным разделением каналов - ЧРК* ортогональные функции представляют собой гармонические колебания с не перекрывающимися частотными спектрами.

3) В МСП *c разделение каналов по форме - РКФ* канальные сигналы перекрываются по времени и частоте, оставаясь ортогональными за счет их формы. В этих системах используются функций Якоби, Лежандра, Лаггера, Уолша и множества других.

Из всего сказанного следует, что обобщенную структурную схему линейной аддитивной МСП можно представить в следующем виде (рисунок).



**Обобщенная структурная схема МСП с линейным разделением сигналов каналов**

Mi – модулятор i-го канала

Пi – перемножитель i-го канала

Иi – интегратор i-го канала

Дi – модулятор i-го канала

СС – синхросигнал передающей стороны

ПС – приемник синхросигнала на приёмной стороне

ЛС – линия связи

На передающей стороне первичные сигналы *C1(t), C2(t),...,CN(t)* поступают на вход *M1, M2,..., MN*, на другой вход которых от генераторов переносчиков поступают линейно независимые или ортогональные переносчики *ψ1(t), ψ2(t),...,ψN(t)*, переносящие первичные сигналы в канальные сигналы *S1(t), S2(t),.., SN (t)*. Затем канальные сигналы суммируются, и формируется групповой много­канальный сигнал *Sгр(t)*.

На приемной стороне групповой сигнал S'гр(t), изменившийся под воз­действием различного вида помех и искажений n(t), поступает на перемножители *П1, П2,..., ПN*, над вход которых от генерато­ров переносчиков поступают переносчики *ψ1(t), ψ2(t),..., ψN(t)*. Результаты перемножения поступают на интеграторы *И1, И2,..., ИN,* на выходе которых получаются канальные сигналы c учетом помех и искажений, *S'1(t), S'2(t),..., S'N(t).* Далее канальные сигналы поступают на *Д1,Д2,...,Дn*, которые преобразуют канальные сигналы в первичные c учетом помех и искажений *С'1(t), С'2(t),..., С'N(t).*

Функционирование системы передачи возможно при синхронном (а иногда и синфазном) воздействии переносчиков на устройства преобразования М на передаче и умножения П на приеме. Для этого на передающей стороне в групповой сигнал вводится синхросигнал (СС), а на приемной стороне он выделяется из группового сигнала приемником синхросигнала (ПС).

**5.1.3 Методы нелинейного разделение каналов.**

В настоящее время *нелинейные методы разделения каналов* для построения многока­нальных систем передачи применяются крайне редко и общая теория нелинейного разделения не разработана пока в общем виде. Однако применение некоторых методов нелинейного разделения сигналов позво­ляет существенно повысить эффективность использования физических цепей.

***5.2 Многоканальные системы телекоммуникаций с частотным разделением каналов. Методы формирования канальных сигналов.***

Телекоммуникационной системой ***с частотным разделением каналов*** называют систему, в линейном тракте которой для передачи канальных сигналов *отводятся* *неперекрывающиеся* *полосы частот*.



Рассмотрим принцип частотного разделения каналов, используя схему N-канальной системы и планы частот в ее характерных точках.



**Рисунок - Структурная схема N-канальной МСП с ЧРК**

В качестве переносчиков в МСП с ЧРК используются гармонические колебания с различными частотами *f1, f2, …fn* (колебания несущих):

ψ*i*(*t*)  *Si*

Канальные сигналы формируются в результате модуляции одного из параметров переносчиков первичными сигналами *Ci(t)*. Применяются *амплитудная*, *частотная* и *фазовая* модуляции. Частоты несущих колебаний выбираются так, чтобы спектры канальных сигналов *S1(t)* и *S2(t) не перекрывались*. Групповой сигнал *Sгр(t)*, поступивший в линию связи, представляет собой сумму канальных сигналов

*Sгр*(*t*)  *S*1 (*t*)  *S*2 (*t*)  ... *Sn*(*t*)

При передаче по линейному тракту сигнал *Sгр*(*t*) претерпевает линейные и нелинейные искажения и на него накладывается помеха n(t), т.о., в приемную часть поступает искаженный сигнал .

В приемной части производится разделение канальных сигналов с помощью канальных полосовых разделительных фильтров КПФ-1, КПФ-2, КПФ-n, т.е. из группового сигнала  выделяют канальные сигналы  .

Первичные сигналы восстанавливаются демодуляторами Д1, Д2, … Дn с использованием частот, равными частотам несущих на передаче.

ФНЧ подавляют высокочастотные паразитные продукты демодуляции.

**Планы частот в ее характерных точках (см. схему)**



В ЧРК доминирующее положение занимает вид модуляции АМ-ОБП, поскольку является наиболее компромиссным.



**Рисунок – Варианты полосой фильтрации при АМ-ОБП**

Формирование сигнала АМ-ОБП в технике связи осуществляется двумя способами:

1. Фильтровой способ
2. Фазоразностный способ

Фильтровой способ чаще используется в технике МСП, в то время как фазоразностный как правило в малоканальных системах передачи.

**Фильтровой способ**

***На передающей стороне***







**Пример:**

Спектр сигнала 0,3 – 3,4 кГц. Определить результат АМ-ОБП, если в качестве несущей используется гармоническое колебание с частотой 100 кГц.



***На приемной стороне***



**Примечание:** Нестабильность по частоте (рассогласование) между генераторным оборудованием передающей и приемной сторон для первичной группы сигнала (12x КТЧ) должно составлять не более 1,5 Гц.

**Фазоразностный способ**



Принцип работы: схема состоит из двух плеч, объединяемых на входе и выходе с помощью развязывающих устройств (РУ). На модулятор (M2) одного плеча исходный сигнал и несущая частота подаются сдвинутыми по фазе на π/2 относительно сигнала и несущей частоты, подаваемых на модулятор (M1) другого плеча. В результате на выходе схемы будет колебание только одной боковой полосы. Фазовые контуры (ФК1, ФКФК2) обеспечивают сдвиг по фазе на π/2.

*Условием разделимости канальных сигналов* в МСП с ЧРК является их *ортогональность*, т.е.



где энергетический спектр i-го канального сигнала;

 границы полосы частот, отводимой в линейном тракте для i-го канального сигнала.

Ширина частотного спектра группового сигнала *f* определяется числом каналов в системе передачи (N); шириной спектра канальных сигналов *f*i, а также частотными характеристиками затухания канальных полосовых разделительных фильтров КПФ-1, КПФ-2, КПФ-n.



Разделительные фильтры обеспечивают малое затухание в полосе пропускания (*апр*) и необходимую величину затухания в диапазоне эффективного задерживания (*апод*). Между этими полосами находятся полосы расфильтровки разделительных фильтров. Следовательно, канальные сигналы должны быть разделены защитными промежутками (*fз*), величины которых должны быть не меньше полос расфильтровки фильтров.

Следовательно, *ширина группового сигнала* может быть определена по формуле

*f гр*  *N*  (*fi*  *f з* )

так как затухание разделительных фильтров в полосе задерживания конечно (*апод*), то полное разделение канальных сигналов невозможно. Вследствие этого появляются *межканальные переходные помехи*.

В современных МСП телефонной связи каждому КТЧ выделяется полоса частот 4 кГц, хотя частотный спектр передаваемых звуковых сигналов ограничивается полосой от 300 до 3400 Гц, т.е. ширина спектра составляет 3,1 кГц. Между полосами частот соседних каналов предусмотрены интервалы шириной по 0,9 кГц, предназначенные для снижения уровня взаимных помех при расфильтровке сигналов. Это означает, что в многоканальных системах связи с частотным разделением сигналов эффективно используется лишь около 80% полосы пропускания линии связи. Кроме того, необходимо обеспечить высокую степень линейности всего тракта группового сигнала.

**Методы формирования группового сигнала**

Системы передачи с частотным разделение каналов строятся на основе многократного преобразования частоты, при этом, на передаче исходный сигнал несколько раз перемещается по шкале частот. На приемной станции осуществляется аналогичное перемещение, но в обратном порядке.

Преимущества многократного преобразования:

- применение простых и дешевых фильтров;

- возможность стандартизации оборудования в системах передачи с различным числом каналов.

Принцип построения систем передачи с использованием многократного преобразования частоты и группообразования можно пояснить с помощью следующего рисунка:



На 1-й ступени преобразования общее число каналов системы (N) разбивается на n2 группы по n1 каналов в каждой. В результате преобразования формируется групповой сигнал *первичной группы* из n1 каналов. Эта ступень преобразования называется *индивидуальной*. Вторая и последующие ступени преобразования являются групповыми. На 2-й ступени n2 одинаковых первичных групп преобразуются во вторичную группу, содержащую (n1n2) каналов, на следующей ступени образуют третичную группу, объединяющую (n1n2n3) каналов.

При построении систем передачи с очень большим числом каналов можно использовать четверичные и пятеричные группы каналов, которые образуются путем объединения соответственно третичных и четверичных групп.

В настоящее время аналоговые системы передачи предусматривают образование следующих широкополосных каналов:

*Предгрупповой канал* с полосой частот 12..24 кГц взамен трех каналов ТЧ.

*Первичная группа* (ПГ) - 12 каналов ТЧ, спектр 60...108 кГц. Образуется однократным преобразованием с помощью несущих частот 64, 68, 72, .., 108 кГц или двукратным преобразованием с помощью образования 4 трехканальных групп на несущих 12, 16, 20 кГц и их последующего преобразования на несущих 84, 96, 108, 120 кГц.

*Вторичная группа* (ВГ) - 60 каналов ТЧ, спектр 312...552 кГц. Образуется из 5 ПГ с помощью несущих 420, 468, 516, 564, 612 кГц. Возможность параллельной работы фильтров обеспечивается их подключением через развязывающий блок параллельной работы первичных групп (ПРПГ).

*Третичная группа* (ТГ) - 300 каналов ТЧ, спектр 812...2044 кГц. Образуется из 5 ВГ с помощью несущих (1364+(n-1)248) кГц, где n - номер ВГ в спектре ТГ.

*Четверичная группа* (ЧГ) - 900 каналов ТЧ, спектр 8516..12388 кГц. Образуется из 3 ТГ. Может также формироваться из 15 ВГ.

Кроме перечисленных каналов в системах передачи формируются каналы вещания и телевидения (со звуковым вещанием).

Совокупность преобразовательного оборудования всех групп носит название *каналообразующей аппаратуры*. Ее назначение заключается в преобразовании индивидуальных сигналов в групповой сигнал одной из стандартных групп. Использование каналообразующей аппаратуры позволяет строить оконечную аппаратуру систем передачи различной емкости на основе стандартного преобразовательного оборудования и, следовательно, создавать унифицированное техническое оборудование.

Пример группообразования каналов КТЧ до третичной группы приведен на следующей схеме.



**Рисунок – Структурная схема аппаратуры формирования**

**группового сигнала на основе третичной группы**

ИП – индивидуальный преобразователь;

ППГр – первичный преобразователь группы;

ВПГр – вторичный преобразователь группы;

АС – аппаратура сопряжения (нужно для согласования группового сигнала с линией связи, т.е. данное устройство перемещает сигнал из одной области спектра в другую);

ОАЛТ – оконечное оборудование аппаратуры линейного тракта (в нем располагается линейный усилитель, корректор, АРУ – аппаратура регулировки уровня, аппаратура согласования, аппаратура подачи дистанционного питания, аппаратура организации диспетчерской связи).

***5.3 Многоканальные системы телекоммуникаций с временным разделением каналов. Сравнительный анализ аналого-импульсных методов модуляции.***

Принцип ***временного разделения каналов*** (ВРК) заключается в том, что канальные сигналы передаются по общему групповому тракту поочередно по времени (т.е. они по времени не перекрываются). Идея разделения сигналов в ВРК говорит о *дискретизации* первичных сигналов *Ci(t)* в каждом i-м канале. Операция дискретизации выполняется в соответствии с *теоремой Котельникова*, которая гласит, что

**Теорема**: всякий непрерывный аналоговый сигнал *Ci(t)* с финитным спектром, ограниченным сверху значением *Fмак*с, может быть представлен последовательностью его мгновенных (дискретных) значений (отсчетов), следующих с частотой дискретизации *Fд 2Fмакс.*

Интервал дискретизации рассчитывается 



Тогда, *N*-отсчетов канальных сигналов передаются по общей линии связи поочередно, так, чтобы каждому канальному сигналу на интервале времени *Тд* предоставлялся свой временной *канальный интервал* (КИ или в англояз. литературе называется тайм-слот (Time Slot)).





**Структурная схема системы передачи с временным разделением**

**Обозначения:**

ФНЧ – фильтры нижних частот

ЭК – канальный электронный ключ

УО – устройство объединения

РУ – развязывающие устройство

КС – канальный селектор

ГКИ - генератор канальных импульсов

РКИ - распределитель канальных импульсов передачи и приема

ФПСС - формирователь и передатчик синхросигнала

ПСС - приемник синхросигнала

**Принцип работы:**

*C1(t), C2(t),..., CN(t)* - первичные сигналы c помощью ФНЧ ограничиваются по полосе частот с частотой среза Fмакс и с помощью этих ФНЧ восстанавливаются на приеме. Канальные электронные ключи ЭК-1, ЭК-2,..., ЭК-N осуществляют дискретизацию ограниченных по частоте первичных сигналов на один вход которого поступает сам первичный сигнал *Сi(t)*, а на управляющий - периодическая последовательность прямоугольных импульсов (ПППИ) *fi(t)* с периодом *Тд* (длительность импульсов ПППИ ). Таким образом формируются канальные сигналы *S1(t), S2(t),..., SN(t)*. Далее с помощью с помощью объединяющего устройство ОУ осуществляется объединение канальных сигналов и синхросигнала, который обеспечивает синхронную работу канальных электронных ключей на передаче и канальных селекторов на приеме, формируется групповой сигнала на входе линии связи *Sгр(t)*. Групповой сигнал пройдя линии связи подвергается воздействию различных шумов . РУ - развязывающее устройство обеспечивает разделение канальных сигналов и синхросигнала на приеме, который в свою очередь локально синхронизирует ГКИ. Далее с помощью KC-1, KC-2, КС-3,..., KC-N - обеспечивается выделение соответствующего канального сигнала. ГКИ - генератор канальных импульсов и РКИ - распределитель канальных импульсов передачи и приема участвует в процессе дискретизации и формировании ПППИ f1(t), f2(t),.., fN(t), которые управляют работой канальных электронных ключей.

Синхронность на передающей и приемной стороне обеспечивает синхросигнал, который также, как и основные канальные сигналы вводится в свой порядковый КИ. Формирование и прием синхросигнала осущеслвяется с помощью ФПСС (формирователь и передатчик синхросигнала) ПСС (приемник синхросигнала) соответственно. f1(t), f2(t),.., fN(t) - ПППИ, управляющие работой канальных электронных ключей.

ПППИ сдвинуты относительно друг друга на величину защитного интервала τ3, (см. рис.).

**Осциллограммы, поясняющие ВРК**



Сравнительный анализ аналого-импульсных методов модуляции.

Формирование канальных сигналов в МСП с ВРК осуществляется на основе модуляции одного из основных параметров ПППИ. В основном нашли применение три вида импульсной модуляции: *АИМ*, *ШИМ*, *ФИМ* и *ЧИМ*. При **АИМ** амплитуда ПППИ изм*еняется по закону первичного сигнала* С(t), а *длительность* импульсов, *частота* их следования и *положение* относительно тактовых точек *остаются постоянными*. Ниже показаны временные диаграммы формирования АИМ канального сигнала.



К пояснению принципов амплитудно-импульсной модуляции

Как было показано, первичный сигнал *Сi(t)* модулирует амплитуду ПППИ *fi(t)* в результате получается канальный амплитудно-модулированный сигнал *S(t)*. При этом различают два вида амплитудно-импульсной модуляции (АИМ):

1. *амплитудно-импульсная модуляция первого рода (АИМ-1)*, при которой мгновенное значение амплитуды импульсов зависит от мгновенного значения модулирующего сигнала, вершины импульсов повторяют исходный сигнал на длительности импульсов (рис. а);
2. *амплитудно-импульсная модуляция второго рода (АИМ-2)*, при которой амплитуда импульсов остается постоянной на всей его длительности (рис. 5, б). При скважности ПППИ q > 10 различия между АИМ-1 и АИМ-2 практически исчезают и потому в дальнейшем не будем делать различия между этими видами амплитудно-импульсной модуляции.

**Примечание.** За счет использования АИМ-2 улучшаются энергетические характеристики.

|  |
| --- |
| **См. приложенный файл, который поясняет отличия между АИМ-1 и АИМ-2 рода** |

Спектр АИМ сигнала *Sаим(f)* при модуляции сигналом *C(t)* со спектром, ограниченным нижней *Fмин* и верхней *Fмакс* граничными частотами. Спектр содержит исходный модулирующий сигнал *C(t)*, гармоники частоты дискретизации *Fд*, *2 Fд*, …, с нижней (от *Fд – Fмакс* до *Fд – Fмин*) и верхней (от *Fд + Fмин* до *Fд + Fмакс*) полосами частот при *Fд*, с нижней (от *2Fд – Fмакс* до *2Fд – Fмин*) и верхней (от *2Fд + Fмин* до *2Fд + Fмакс*) при *2Fд* и т.д. Таким образом, в спектре АИМ- сигнала *Sаим(f)* содержится исходный информационный сигнал *C(t)*. Поэтому на приемной стороне из АИМ-сигнала можно выделить информационный с помощью фильтра нижних частот ФНЧ. Из-за не идеальности ФНЧ необходимо обеспечить полосу расфильтровки *ΔFр* более широкую, чем сам первичный сигнал.

**Примечание.** Спектры АИМ-1 и АИМ-2 различны. Верхние спектральные составляющие АИМ-2 как бы «заваливаются».



Рисунок - Спектр АИМ-сигнала

Из рис. следует, что *Fмакс + ΔFр = Fд – Fмакс* или *Fд = 2Fмакс + ΔFр*, т.е. частота дискретизации *Fд  2Fмакс*, что соответствует теореме Котельникова В.А. Знак равенства выполняется для полосы расфильтровки *ΔFр = 0*, что возможно только при идеальном фильтре. Для каналов тональной частоты частота дискретизации выбирается равной *Fд* = 8 кГц, следовательно, при передаче по каналу телефонного сигнала с полосой частот *ΔF* = 0,3…3,4 кГц полоса расфильтровки составит *ΔFр* = (8 – 6,8) кГц = 1,2 кГц.

**Пример:**

На практике в качестве частоты дискретизации выбирают *Fд = (2,15…2,4)Fмакс*, тогда интервал дискретизации для КТЧ равен  мкс.

**Переходные влияния между каналами систем передачи с ВРК**

При временном разделении, так же как и при ЧРК существуют взаимные помехи, в основном обусловленные двумя причинами.

Первая состоит в том, что линейные искажения, возникающие за счет ограниченности полосы частот и неидеальности амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик всякой физически осуществимой системы связи, нарушают импульсный характер сигналов. При временном разделении сигналов это приведет к тому, что импульсы одного канала будут накладываться на импульсы других каналов. Иначе говоря, между каналами возникают взаимные *переходные помехи* или *межсимвольная интерференция (МСИ)*.

 Рисунок – Принцип возникновения МСИ

Кроме того, взаимные помехи могут возникать за счет несовершенства синхронизации тактовых импульсов на передающей и приемной сторонах.

В силу того, что АИМ сигнал обладает низкой помехоустойчивость, поэтому **временное разделение каналов** на основе АИМ не получило практического применения, а широко **используется** в системах с **импульсно-кодовой модуляцией**.

В малоканальной аппаратуре вместо АИМ используется ШИМ ,ФИМ и ЧИМ.

В ШИМ и ФИМ время следования импульсов определяется по формуле .



Рисунок – Принцип формирования ШИМ и ФИМ

**Примечание.** Демодулировать ШИМ нельзя, т.к. полоса частот основного сигнала попадает (перекрывается) с полосой ШИМ.

Восстановление первичного сигнала при ШИМ (ФИМ) через преобразователь в АИМ.



Рисунок – Схема преобразователя ШИМ (ФИМ) сигналов в первичный

ГПН – генератор преобразования длительности в напряжение

**Примечание.** При ЧИМ демодуляции из ЧИМ->ШИМ->АИМ

|  |
| --- |
| **См. приложенный файл, который поясняет различия во времяимпульсных и частотно-импульсных видах модуляции** |