

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

МСП с ЧРК относятся к классу систем линейного разделения ортогональных сигналов и служат для формирования групповых аналоговых трактов передачи, имеющих нормализованные параметры, входящих в состав транспортной (первичной) телекоммуникационной сети связи.

Основной принцип построения МСП с ЧРК заключается в том, что для передачи каждого сигнала выделяется своя, не перекрывающаяся с другими полоса частот.

В этом случае каналные сигналы удовлетворяют условию ортогональности в частотной области

$$\int_{-\infty}^{+\infty} S_i(j\omega)S_j(j\omega)d\omega = \begin{cases} A_i, & \text{при } i = j \\ 0, & \text{при } i \neq j \end{cases}, \text{ где}$$

$S_i(j\omega)$ ,  $S_j(j\omega)$  – спектральная плотность каналных сигналов  $s_i(t)$  и  $s_j(t)$ , формируемых в аппаратуре МСП, имеющих номера  $i, j = 1, 2, \dots, N$ ;

$A_i$  – некоторая постоянная, величина которой определяется значением энергии  $i$ -го каналного сигнала.

Таким образом, обеспечивается выполнение условия линейной разделимости каналных сигналов на стороне приёма.

Формирование группового сигнала в соответствии с принципом ЧРК требует выполнения операции переноса спектра каждого из передаваемых первичных сигналов в границы частотного диапазона, выделенного для передачи данного сигнала внутри полосы пропускания линии связи (физической среды распространения электрического сигнала). Рассматриваемая операция называется преобразованием спектров передаваемых сигналов.

Перенос спектра первичного сигнала осуществляется на этапе формирования каналных сигналов с использованием нелинейных преобразователей (модуляторов, демодуляторов), в которых выполняется модуляция одного из параметров несущего гармонического колебания (переносчика) первичным сигналом. Т. о. любой из видов аналоговой модуляции (амплитудная, частотная или фазовая модуляция), переносит спектр модулирующего сигнала в частотный диапазон, определяемый частотой несущего колебания и видом модуляции.

В системах передачи с частотным разделением каналов в силу ряда преимуществ в качестве основного метода формирования каналных сигналов используется амплитудная модуляция (АМ) гармонического колебания несущей частоты, позволяющая наиболее эффективно использовать полосу пропускания линии связи.

Если первичный сигнал представляет собой сложное колебание, спектр частот которого ограничен частотами  $\Omega_H$  и  $\Omega_B$ , т. е.

$$c(t) = \sum_{\Omega_i} U_{\Omega_i} \cos(\Omega_i t + \varphi_i), \text{ где}$$

$\Omega_i \in [\Omega_H, \Omega_B]$  – частота  $i$ -й частотной составляющей первичного сигнала;

$U_{\Omega_i}$ ,  $\varphi_i$  – амплитуда и начальная фаза  $i$ -ой частотной составляющей первичного сигнала, а несущее колебание имеет вид

$$\psi(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}), \text{ где}$$

$\omega$  – значение круговой частоты,  $U_{\omega}$ ,  $\varphi_{\omega}$  – амплитуда и начальная фаза несущего колебания, то выражение для АМ сигнала может быть представлено в виде

$$S_{AM}(t) = U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega}) + \frac{1}{2} U_{\Omega_i} m_{AM} \sum_{\Omega_i} \cos[(\omega + \Omega_i)t + (\varphi_{\omega} + \varphi_i)] + \\ + \frac{1}{2} U_{\Omega_i} m_{AM} \sum_{\Omega_i} \cos[(\omega - \Omega_i)t + (\varphi_{\omega} - \varphi_i)],$$

где  $m_{AM}$  – глубина амплитудной модуляции.

Из последнего выражения следует, что частотный спектр АМ сигнала содержит колебание несущей частоты  $\omega$  с амплитудой  $U_{\omega}$  и колебания двух боковых полос частот (верхней и нижней) с частотами  $(\omega + \Omega_i)$  и  $(\omega - \Omega_i)$ , соответственно, и амплитудой  $\frac{1}{2} U_{\Omega_i} m_{AM}$  (рис. 1).

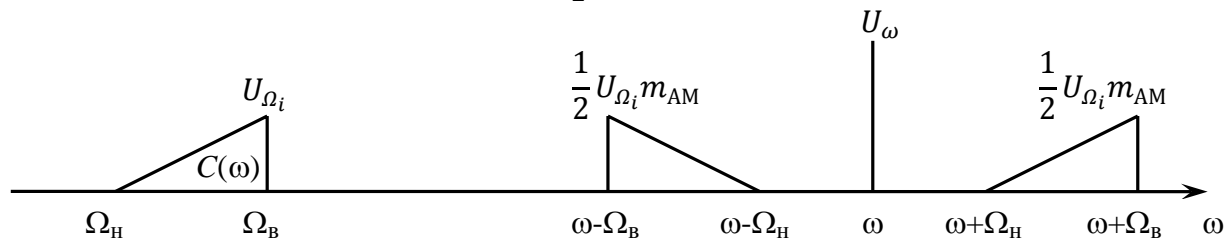


Рис. 1. Спектры первичного  $[C(\omega)]$  и АМ сигналов

Вся информация об исходном передаваемом сигнале содержится в каждой из боковых полос частот, поэтому для восстановления первичного сигнала из АМ сигнала на стороне приёма не обязательно передавать весь спектр АМ сигнала по каналу передачи. В зависимости от области применения МСП с ЧРК и специфики их работы, оказывается целесообразным применение различных методов передачи канальных АМ сигналов:

- передача двух боковых полос и несущей частоты;
- передача двух боковых полос частот без несущей частоты;
- передача одной боковой полосы частот и несущей частоты;
- передача одной боковой полосы частот без несущей частоты;
- передача одной боковой полосы частот, несущей и части второй боковой полосы частот.

Все указанные методы обеспечивают принципиальные возможности формирования канальных сигналов на стороне передачи, линейного разде-

ления канальных сигналов и восстановления первичных сигналов на стороне приёма. Однако практическая реализация этих методов требует различных технических решений.

Сравнение типов канальных сигналов производится с использованием трёх основных критериев: ширина спектра частот канального сигнала, мощности канального и группового сигналов, сложность устройств обработки сигналов.

В соответствии с этими критериями метод передачи одной боковой полосы частот без несущей частоты (далее просто АМ-ОБП) обладает следующими преимуществами:

- ширина спектра канального сигнала при АМ-ОБП минимальна и равна ширине спектра первичного сигнала, что позволяет организовать максимальное количество каналов в заданной полосе пропускания группового тракта;

- отсутствие несущего колебания в спектре частот сигнала АМ-ОБП, мощность которого значительно превышает мощность используемой боковой полосы частот, позволяет значительно повысить мощность последней при той же мощности канального сигнала и тем самым обеспечить наибольшую помехозащищённость метода АМ-ОБП по сравнению с другими методами передачи АМ сигналов.

При использовании метода АМ-ОБП в результате модуляции происходит перемещение спектра передаваемого сигнала по оси частот, при неизменной ширине занимаемой им полосы частот. Такой вид модуляции называется преобразованием частоты.

Отмеченные выше достоинства метода АМ-ОБП определяют его преимущественное применение для формирования канальных сигналов в каналообразующем оборудовании МСП с ЧРК.

Реализация метода передачи АМ-ОБП в аппаратуре МСП выполняется, как правило, с использованием фильтрового метода формирования канального сигнала в соответствии со структурной схемой, приведённой на рис. 2. При этом подавление сигнала несущей частоты осуществляется соответствующим выбором схем модуляторов (балансной или двойной балансной), на выходе которых при условии их балансировки отсутствует колебание несущей частоты. Выделение полезной боковой полосы частот, т. е. подавление неиспользуемой боковой полосы частот и побочных продуктов преобразования, выполняется с помощью полосового канального фильтра (КФ), располагающегося на выходе амплитудного модулятора. Помимо этого в задачи КФ входит некоторое дополнительное подавление колебания несущей частоты, которое может появляться на выходе модулятора из-за неточности его балансировки.

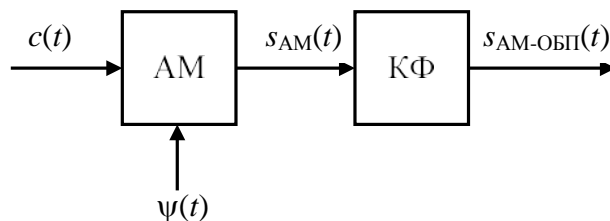


Рис. 2. Структурная схема формирования сигнала АМ-ОБП с использованием фильтрового метода

Групповой сигнал  $s(t)$  получают суммированием канальных сигналов  $s_i(t)$ , являющихся ортогональными в частотной области:

$$s(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t).$$

Схема преобразования спектров в аппаратуре мультиплексирования  $N$ -канальной МСП с ЧРК и АМ-ОБП при использовании верхней боковой полосы частот приведена на рис. 3.

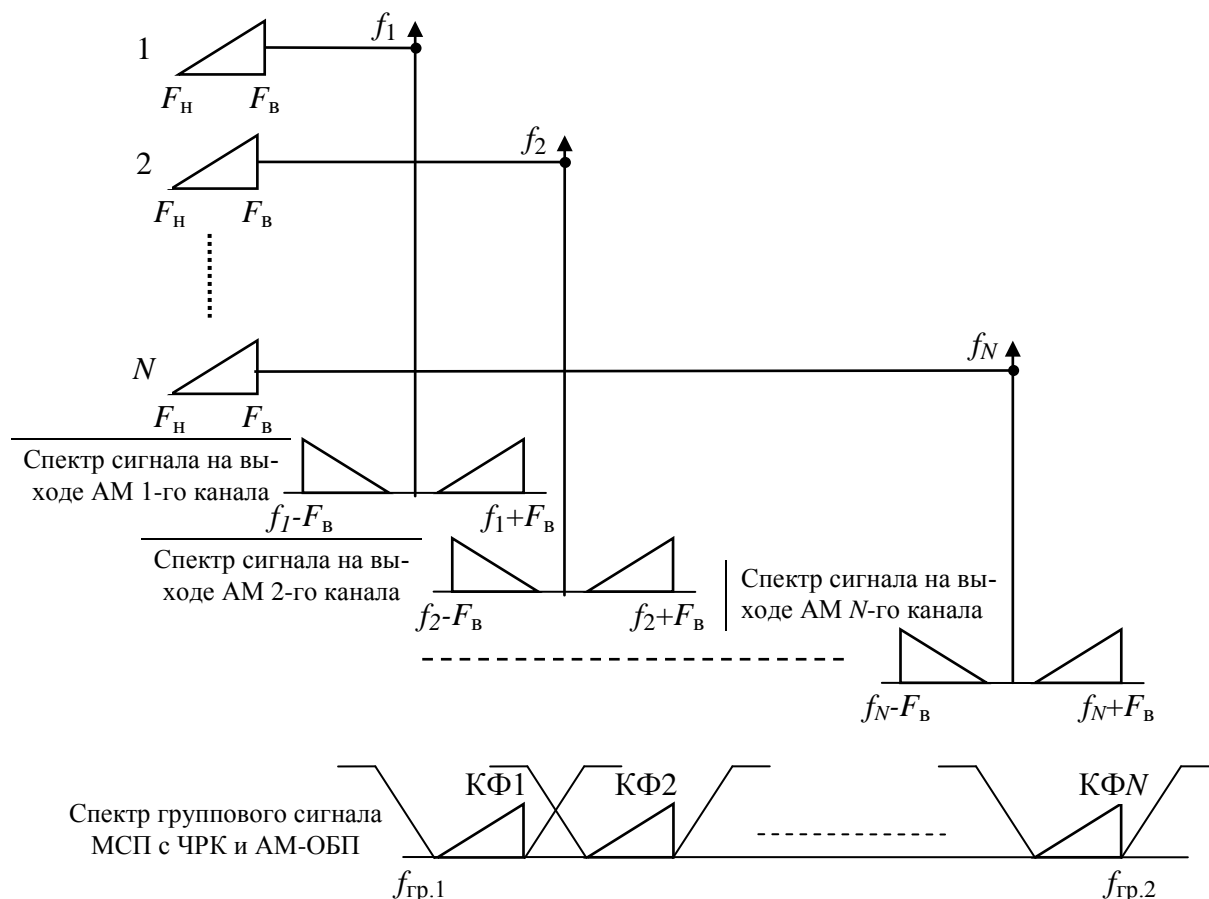


Рис. 3. Схема преобразования спектров в аппаратуре  $N$ -канальной МСП с ЧРК и АМ-ОБП при использовании верхней боковой полосы частот.

Групповой сигнал МСП передаётся по линейному тракту (ЛТ), который в аналоговых СП состоит из участков кабельных или воздушных линий связи и усилителей, располагающихся на промежуточных обслуживаемых (ОУП) и необслуживаемых (НУП) усилительных пунктах.

При прохождении по линии связи групповой сигнал претерпевает различного вида искажения и подвергается воздействию помех. Вследствие этого на входе приёмной части аппаратуры МСП вместо сигнала  $s(t)$  формируется сигнал  $\hat{s}(t)$ , который отличается от переданного и называется оценкой переданного группового сигнала.

Для безыскажённой передачи группового сигнала по линейному тракту необходимо обеспечить постоянство амплитудно-частотной (АЧХ), линейность фазочастотной (ФЧХ) и амплитудной (АХ) характеристик группового тракта. При этом АЧХ и ФЧХ определяют возникновение линейных, а АХ – нелинейных искажений. В реальных групповых трактах все указанные характеристики отличаются от идеальных, что приводит к возникновению искажений.

Линейные искажения в групповом тракте будут отсутствовать, если выполняются условия:

- равномерность АЧХ в полосе частот группового сигнала  $\omega_{гр.1} \div \omega_{гр.2}$

$$|K(j\omega)| = K_0 = const \text{ при } \omega \in [\omega_{гр.1}, \omega_{гр.2}], \text{ где}$$

$K(j\omega) = |K(j\omega)| \cdot e^{-B(\omega)}$  – комплексный коэффициент передачи группового тракта,  $B(\omega)$  – фазовый сдвиг между сигналами на входе и выходе линейного тракта.

- линейность ФЧХ  $B(\omega) = \omega\tau \pm 2\pi k$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$  или постоянство группового времени прохождения в полосе частот группового сигнала  $\omega_{гр.1} \div \omega_{гр.2}$

$$t_{гр}(\omega) = \frac{dB(\omega)}{d\omega} = \tau = const.$$

При выполнении этих условий сигнал на выходе группового тракта отличается от переданного только амплитудой, измененной в  $K_0$  раз, и сдвигом во времени на величину  $\tau$

$$\hat{S}(t) = K_0 s(t - \tau).$$

Невыполнение указанных условий приводит к возникновению линейных искажений группового сигнала МСП. Такие искажения, возникающие в линейных цепях, т. е. в цепях, параметры которых не зависят от амплитуды сигнала, характеризуются изменениями амплитудных и фазовых соотношений в спектрах канальных сигналов на выходе линейного тракта, не вызывающих, однако, появления в их составе новых частотных составляющих. Таким образом, линейные искажения группового сигнала вызывают искажения каждого отдельного сигнала, но не приводят к нарушению ортогональности канальных сигналов.

Зависимость модуля коэффициента передачи от уровня группового сигнала вызывает искажения формы сигнала, которые называются нелинейными искажениями. Для их описания используются нелинейные математические преобразования. Так, амплитудная характеристика линейного тракта может быть аппроксимирована степенным рядом

$$\hat{s}(t) = a_1 s(t) + a_2 s^2(t) + a_3 s^3(t) + \dots,$$

где  $a_1, a_2, a_3, \dots$  – коэффициенты полинома, описывающего АХ группового тракта.

Первое слагаемое в этом выражении представляет собой неискаженный групповой сигнал на выходе тракта, а все остальные – помехи нелинейности второго, третьего и т. д. порядков.

При оценке нелинейных свойств квазилинейного участка АХ групповых трактов МСП с ЧРК не учитывают продукты выше третьего порядка в виду их малости.

Спектр квадрата группового сигнала (второе слагаемое в последнем выражении) включает в себя:

вторые гармоники всех частотных составляющих группового сигнала  $2f_i$ ;

суммарные и разностные комбинационные продукты второго порядка с частотами вида  $f_i \pm f_j$ .

Спектр куба группового сигнала (третье слагаемое в последнем выражении) включает в себя:

третьи гармоники всех частотных составляющих группового сигнала  $3f_i$ ;

суммарные комбинационные продукты третьего порядка с частотами вида  $f_i + f_j + f_k$  и  $2f_i + f_j$ ;

разностные комбинационные продукты третьего порядка с частотами вида  $f_i + f_j - f_k$  и  $2f_i - f_j$ .

В качестве  $f_i, f_j$  и  $f_k$  выступают каждая из частотных составляющих, входящих в состав группового сигнала на входе группового линейного тракта МСП с ЧРК. В этом случае при определении спектра частот нелинейных помех используют значения граничных частот группового сигнала МСП с ЧРК ( $f_{гр.1}, f_{гр.2}$ ).

Очевидно, что продукты нелинейности, создаваемые частотными составляющими одних канальных сигналов, могут попадать в частотные диапазоны, занятые другими канальными сигналами, создавая переходные помехи.

Таким образом, нелинейные искажения группового сигнала МСП с ЧРК приводят не только к искажению каждого из канальных сигналов, но и к нарушению их ортогональности, вызывая появление межканальных переходов. На выходе канала такие помехи могут проявляться в виде шума или внятного переходного разговора.

Влияние переходных помех оценивается величиной защищённости передаваемого сигнала от межканальных помех  $A_3 = p_c - p_{мп}$  (дБ), где  $p_c$  – уровень сигнала на выходе канала, подверженного влиянию,  $p_{мп}$  – уровень межканальных помех на выходе канала, подверженного влиянию.

В приёмной части аппаратуры (демультиплексоре) МСП с ЧРК и АМ-ОБП производится разделение принятого группового сигнала  $\hat{s}(t)$  на каналные сигналы  $\hat{s}_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  с помощью канальных полосовых фильтров, однотипных с КФ, используемыми в аппаратуре мультиплексирования.

Для восстановления переданных первичных сигналов  $\hat{c}_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  каналные сигналы с выходов канальных фильтров подаются на демодуляторы. При этом на демодуляторы должны быть поданы несущие колебания, с теми же частотами, что и в аппаратуре мультиплексирования.

Формирование сигналов переносчиков в аппаратуре мультиплексирования и демультиплексирования осуществляется в генераторном оборудовании (ГО).

Отсутствие синхронизации генераторного оборудования приёмной и передающей частей аппаратуры МСП с ЧРК приводит к расхождению частот несущих колебаний в аппаратуре мультиплексирования и демультиплексирования на величину  $\Delta f$  и, как следствие, к смещению всех спектральных составляющих передаваемого первичного сигнала на величину  $\Delta f$  относительно их номинального положения. Возникающие при этом искажения передаваемого сигнала получили название сдвига частот в канале. Такие искажения вызывают изменение характера звучания и уменьшение разборчивости речи в каналах ТЧ.

Фильтры нижних частот (ФНЧ), частота среза которых совпадает с верхней частотой в спектре передаваемого сигнала  $F_v$ , располагающиеся на выходах демодуляторов, подавляют побочные продукты демодуляции.