

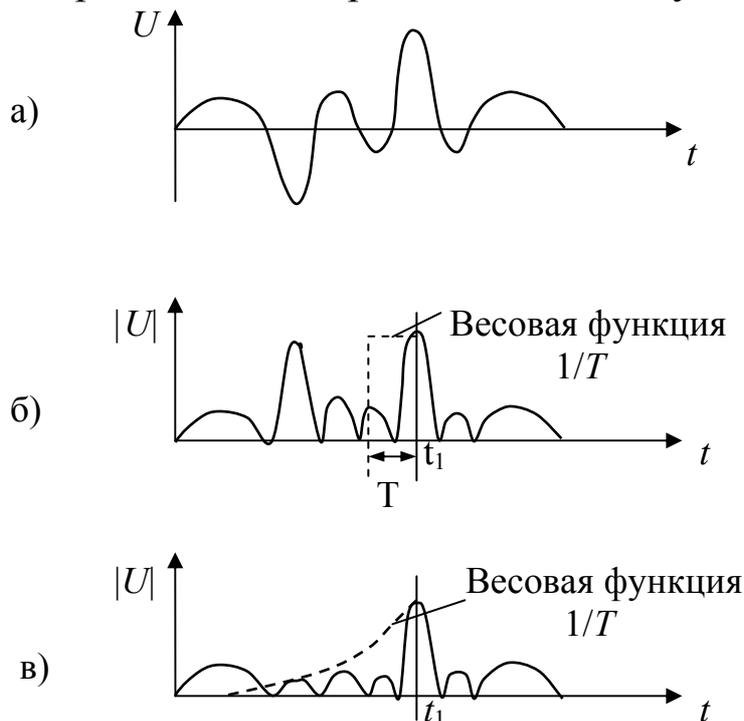
# Сигналы звукового вещания

## Вещательный сигнал как случайный процесс

Сигналами звукового вещания (СЗВ) называют колебания, соответствующие речи, музыке или их сочетанию. Звуковое колебание воздействующее на микрофон или излучаемое громкоговорителем, называется акустическим сигналом. Он характеризуется звуковым давлением, интенсивностью (или силой) звука, звуковой мощностью. Звуковое колебание, передаваемое по цепям системы звукового вещания, представляет собой электрический сигнал, характеризуемый напряжением, током, электрической мощностью.

Сигнал звукового вещания является случайным процессом; характеризующие его акустические или электрические величины непрерывно изменяются во времени. Графически он может быть изображен совокупностью реализаций случайных функций. Если каждая из них представляет собой изменяющееся во времени звуковое давление или напряжение, то такие зависимости принято называть кривыми изменения мгновенных значений СЗВ во времени (рис. 1, а).

Рис. 1. Временные диаграммы сигнала звукового вещания



Уровень СЗВ характеризует сигнал в определенный (текущий) момент времени и представляет собой выраженное в децибелах выпрямленное и усредненное за некоторый предшествующий промежуток времени напряжение (вещательного сигнала)  $\overline{U(t_1)}$  отнесённое к некоторой условной величине  $U_0$

$$N_{\text{Э}} = 20 \lg \left( \frac{\overline{U(t_1)}}{U_0} \right),$$

где  $N_{\text{Э}}$  – уровень электрического вещательного сигнала (в момент времени  $t_1$ ).

Наиболее просто усреднять мгновенное значение выпрямленного напряжения, используя постоянный весовой коэффициент

$$\overline{U_1(t_1)} = \frac{1}{T} \int_{t_1-T}^{t_1} |U(t)| dt \quad \text{рис. 1, б}$$

На самом деле, влияние ранних значений тем меньше, чем больше они удалены в прошлое, поэтому более корректно ввести переменный весовой множитель. Подходящим приближением является функция

$$\lambda(t_1 - t) = \begin{cases} \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t_1 - t}{T}\right), & \text{при } t \leq t_1 \\ 0 & \text{при } t \geq t_1 \end{cases}$$

При таком способе усреднения среднее выпрямленное значение

$$\overline{U(t_1)} = \int_{-\infty}^{t_1} \lambda(t_1 - t) |U(t)| dt$$

Т.к. вещательный сигнал является нестационарным случайным процессом, то полученные в разные моменты времени значения  $\overline{U(t_1)}$ ,  $\overline{U(t_2)}$ ,  $\overline{U(t_n)}$  окажутся разными, и мы получим зависимость изменения во времени среднего значения выпрямленного напряжения.

Форма этой зависимости определяется как особенностями самого СЗВ, так и интервалом усреднения  $T$ . Если бы существовал минимальный интервал усреднения  $T_0$ , при достижении которого среднее значение выпрямленного сигнала не зависело бы от текущего момента времени  $t$ , т.е. если при  $T \geq T_0$  выполнялось бы равенство

$\overline{U(t_1)} = \overline{U(t_2)} = \dots = \overline{U(t_n)}$ , то такой сигнал можно было бы назвать стационарным, а  $T_0$  – интервалом его стационарности. В тех редких случаях, когда условие выполняется, предел однородности получается очень большим: не менее 2-3 минут.

При всем многообразии сигналов звукового вещания некоторые их статистические свойства, имеющие практический интерес, оказываются в достаточной мере устойчивыми и объективно характеризующими особенности СЗВ разных типов (речь, классическая музыка, эстрадная музыка, хоровое пение и т.д.).

Знание статистических свойств СЗВ необходимо для:

1. четкого понимания процессов, протекающих как в отдельных устройствах, так и в целом во всей системе звукового вещания;
2. правильной трактовки свойств и параметров вещательной аппаратуры;
3. создания испытательных сигналов, наилучшим образом имитирующих реальные СЗВ;
4. разработки оптимальных систем и устройств, в максимальной степени учитывающих как свойства СЗВ, так и особенности слухового восприятия.

Статистические свойства СЗВ характеризуются, прежде всего, законами распределения:

1. мгновенных значений и уровней звуковых давлений (напряжений) во времени;
2. длительностей пауз;
3. длительностей непрерывного существования разных уровней;
4. звуковых давлений (напряжений) по частоте.

## **Закон распределения мгновенных значений и уровней СЗВ**

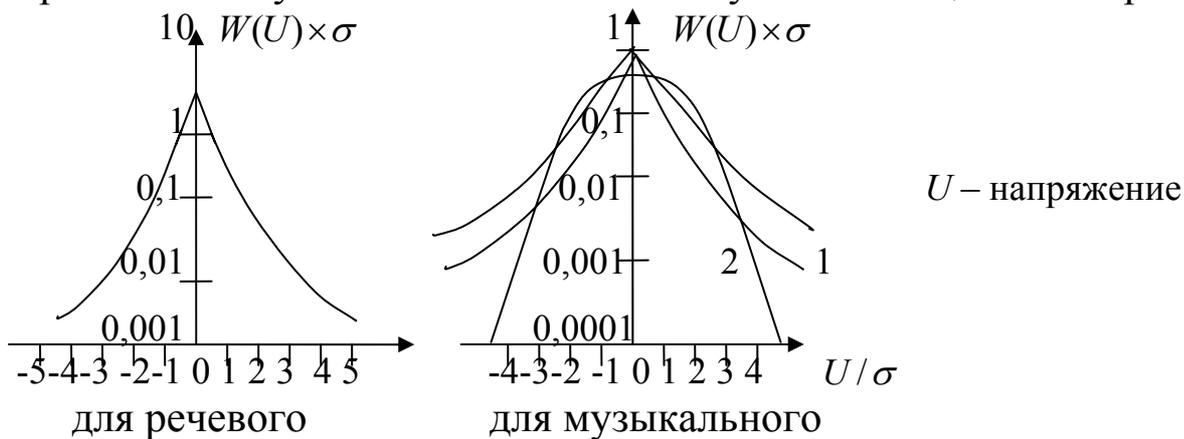
Наиболее распространенная характеристика случайной величины  $x$ , полностью описывающая её с вероятностной точки зрения, – функция распределения  $p(x)$ , под которой понимается вероятность события  $X < x$ , где  $x$  – некоторое значение случайной величины. Функция  $p(x) = p(X < x)$  называется одномерной

функцией распределения случайно величины. Производная  $W(x)$  от этой функции  $p(x)$  называется одномерной плотностью вероятности распределения случайной величины  $x$ . Она характеризует вероятность того, что случайная величина окажется расположенной в пределах от  $x$  до  $x + \Delta x$ . Зависимости  $W(x)$  и  $p(x)$  определяют закон распределения случайной величины  $x$ . Применительно к СЗВ случайными величинами являются мгновенные значения напряжения или значения звукового давления  $p_{зв}$ , а также уровни  $N_a$  и  $N_э$ .

Законы распределения  $p(x)$  и  $W(x)$  являются устойчивыми, (т.е. получаемые результаты имеют только экспериментальную погрешность), если длительность реализации превышает интервал стационарности  $T_0$ . Как уже говорилось, сигнал звукового вещания в строгом понимании нестационарен. Однако, с достаточной для практических целей точностью речевой сигнал можно рассматривать как квазистационарный случайный процесс при интервале наблюдения  $T_{им}$ , превышающим 2-3 мин. Для музыкальных СЗВ интервал стационарности  $T_0$  установить не удастся. Поэтому для получения более или менее устойчивых законов распределения для СЗВ разных жанров необходимо существенно увеличить время анализа  $T_{ин}$  до нескольких часов. При более короткой длительности выборки  $T_{ин}$  результаты анализа очень сильно различаются и характеризуют не свойства сигнала звукового вещания, а только исследуемые отдельные отрывки. Кроме того, объектами исследования являются обработанные звукорежиссером фонограммы, а методы регулировки сигналов разными звукорежиссерами не идентичны. Так же, как уже говорилось, распределение уровней во времени существенно зависит от значения  $T$ .

Все это приводит к тому, что законы распределения  $p(x)$  и  $W(x)$ , полученные для музыкальных сигналов даже при большом времени анализа, сильно зависят от исследуемого отрывка программы.

Распределение плотности вероятности мгновенных значений речевого и музыкального сигналов звукового вещания во времени.



Речевой сигнал имеет устойчивое распределение плотности вероятности мгновенных значений, симметричное, одновременное, подчиняющееся экспоненциальному закону.

Исследования распределений музыкальных сигналов показали, что разным типам звучаний (вокал, эстрадная музыка, симфоническая музыка) соответствуют сходные по форме зависимости, чаще экспоненциального характера (кривая 1).

Достаточно общей аппроксимацией описанных зависимостей является выражение вида

$$W(U) = \frac{A}{\sqrt{2}\sigma_1} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|U|}{\sigma_1}\right) + \frac{B}{\sqrt{2}\sigma_2} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|U|}{\sigma_2}\right) \quad (1)$$

Вид программы	A	B	$\sigma_1$	$\sigma_2$
Речь информационного характера	0,57	0,43	1,3	0,26
Вокальная музыка (арии из опер, романсы)	0,75	0,25	1,44	0,24
Камерная музыка, фортепьяно	1	0	1,05	—
Симфоническая музыка	0,65	0,35	1,2	0,23

Для программ подобных хору с оркестром, эстрадным композициям, джазовой музыке наблюдается приближение к гауссовскому закону распределения (кривая 2).

$$W(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{U^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

Сопоставив (1) и (2) и результаты экспериментальных исследований, можно сформулировать обобщенный закон распределения во времени мгновенных значений музыкальных сигналов

$$W(U) = \frac{q\xi}{2\sigma\Gamma(1/q)} \exp\left[-\left(\frac{\xi|U|}{\sigma}\right)^q\right], \quad 1 < q < 2$$

$q$  – параметр, определяющий степень экспоненты

1 – для камерной и симфонической музыки

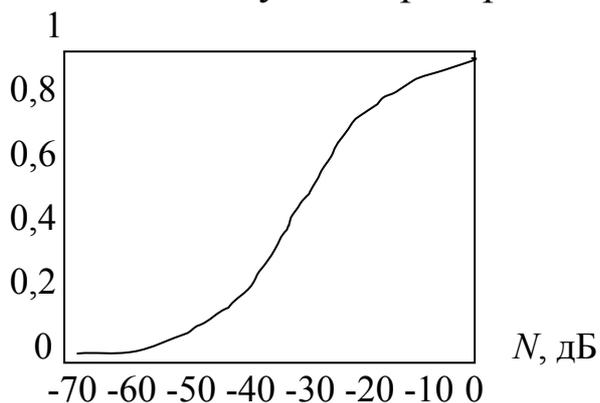
2 – для эстрадной и джазовой

$\Gamma$  – гамма-функция

$$\xi = \Gamma(3/q).$$

Приведенные законы справедливы для мгновенных значений сигнала.

Функция распределения уровней по времени

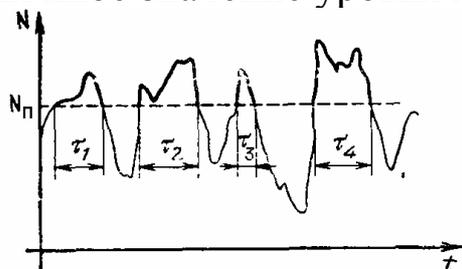


Данная функция распределения получена при экспериментальном исследовании музыкальных и речевых отрывков. Весовая функция экспоненциальная,  $T = 25$  мс. Существенное отличие этой зависимости от гауссовской наблюдается лишь в области малых уровней, отличающихся от номинального значения  $N = 0$  дБ, более чем на 35 дБ. Поэтому с достаточной для практики точностью можно считать, что распределение уровней во времени подчиняется гауссовскому закону.

$$p(N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^N \exp\left(-\frac{(N-a)^2}{2\sigma^2}\right) dN; \quad a = -24 \text{ дБ}, \sigma = 10 \text{ дБ}$$

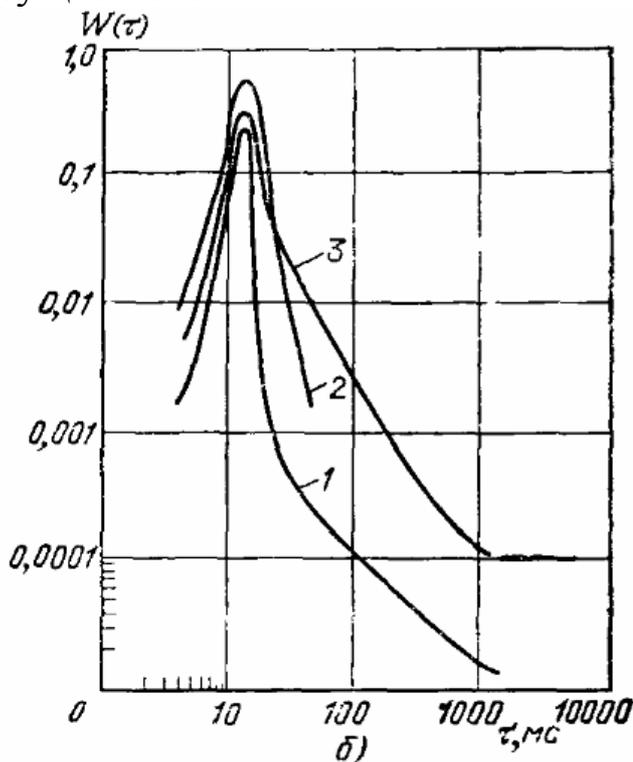
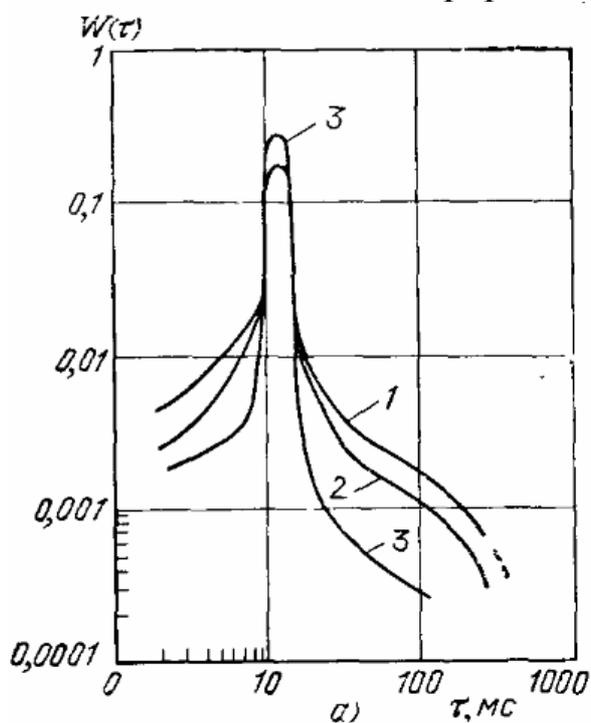
## Распределение выбросов и пауз сигналов звукового вещания по времени

Из приведенного выражения  $p(N)$  можно получить представление об общем времени  $\tau$ , в течение которого достигается или превышает то или иное значение уровня  $N_{\Pi}$  (пороговое).



Однако, рассмотренные зависимости не позволяют ответить на вопрос, из какого числа и длительности отрезков это время складывается. Этот вопрос имеет большое практическое значение. При проектировании систем кодирования речи и музыки, при выборе режима работы транзисторов оконечного каскада усилителей, при ручном и автоматическом регулировании уровней и т.д.

Плотность вероятности распределения выбросов речевого и музыкального сигналов звукового вещания по длительности их непрерывного существования



$$1) \frac{N_{\Pi}}{N_{\text{кв.макс}}} = 0,98 \quad 2) \frac{N_{\Pi}}{N_{\text{кв.макс}}} = 0,8 \quad 3) \frac{N_{\Pi}}{N_{\text{кв.макс}}} = 0,02$$

Длительность выборки при анализе речевого сигнала более 3 мин.

Обобщенные сведения, относящиеся к музыкальному СЗВ полученные в результате усреднения данных для четырех жанров. Выбранные отрывки обработаны звукорежиссером, длительность каждого из них не менее двух минут. (По оси ординат отложены плотности вероятности  $w(\tau)$  длительности непрерывного существования (превышения) уровней, превышающих пороговый уровень  $N_{\Pi}$  в долях квазимаксимального значения  $N_{\text{кв.макс.}}$ , по оси абсцисс – длительность выброса  $\tau$ , мс).

Диапазон изменения длительностей непрерывного циркулирования уровней (выбросов) очень широк. Например, максимальная длительность выбросов, зафиксированная при пороговом уровне равном 5% от максимального значения, составляет для речевого сигнала  $\approx 1$ с, для музыкального до 4 с. Минимальное значение  $\tau$  не превышает единиц миллисекунд. Наибольшее значение плотности вероятности  $w(\tau)$  независимо от  $N_{\Pi}$  и жанра программы наблюдается для выбросов длительностью 12...17 мс.

Хорошей аппроксимацией среднестатистических зависимостей  $w(\tau)$  при  $0 < \tau \leq 100$  мс. Является гамма-распространение вида

$$w(\tau) = \mu \frac{\tau}{\nu^2} \exp\left(-\frac{\tau}{\nu}\right)$$

$\tau$  – длительность выброса.

$\nu$  – параметр, определяемый соотношением  $\frac{N_{\Pi}}{N_{\text{кв.макс.}}}$

$N_{\text{кв.макс.}}$  – квазимаксимальный уровень СЗВ (вероятность его превышения составляет 0,02).

$\mu$  – параметр, зависящий от  $N_{\Pi}$  и определяемый из условия

$$\int_{-\infty}^{\infty} W(\tau) d\tau = 1$$

Таблица.

Параметр	Относительный пороговый уровень			
	0,2	0,4	0,6	0,8
$\nu$	0,0242	0,0266	0,0208	0,0195
$\mu$	0,66	0,68	0,71	0,73

Используя приведённое выражение  $W(\tau)$  нетрудно оценить вероятность  $p(\tau)$  превышения длительности выброса некоторого заданного значения  $\tau$ .

$$\text{при } 0 < \tau \leq 100 \text{ мс } p(\tau) = 1 - \int_0^{\tau} \mu \frac{\tau}{\nu^2} \exp\left(-\frac{\tau}{\nu}\right) d\tau$$

Результаты расчётов для ряда значений  $\tau$  получены для двух областей анализа, где уровни близки к минимальному и максимальному значениям.

Таблица.

$\frac{N_{\Pi}}{N_{\text{КВ.МАКС.}}}$	$p(\tau)$ при $\tau$ , мс, не меньшем			
	10	20	50	80
0,2	0,6	0,38	0,315	0,294
0,8	0,5	0,264	0,19	0,134

Из таблицы следует, что вероятность существования уровней, близких к  $N_{\text{КВ.МАКС.}}$  при  $\tau > 20 \dots 50$  мс достаточно мала, а длительности  $\tau \leq 10$  мс более вероятны. Поэтому общее время существования квазиоптимальных уровней (или близких к ним) в основном складывается из кратковременных промежутков времени.

Если понимать под паузами длительности выбросов лежащих ниже определённого фиксированного порогового уровня, (обычно это квазиминимальный уровень, вероятность превышения которого составляет 0,98), превышающего уровень помех  $N_{\text{ПОМ.}}$ , то вероятность появления паузы для  $i$ -го порога.

$$p_i = \begin{cases} 0 & \text{при } N_i > N_{\Pi} \text{ и } t_{\Pi} > T_{\text{pc}}; \text{ или при } N_i < N_{\Pi} \text{ и } t_{\Pi} \leq T_{\text{pc}} \\ 1 & \text{при } N_i < N_{\Pi} \text{ и } t_{\Pi} > T_{\text{pc}}; \end{cases}$$

$N_i$  – текущий уровень исследуемого сигнала;

$N_{\Pi}$  – пороговый уровень по которому определяется начало и конец паузы;

$T_{pc}$  – разрешающая способность анализатора;

$t_{II}$  – возможные значения длительности пауз.

При определении закона распределения пауз по длительности для разнородных вещательных сигналов (музыка, речь) пороговый уровень выбирается ниже номинального на 40 дБ.

Номинальный – максимально допустимый уровень, при котором нелинейные искажения, вносимые устройством, передающим данный сигнал, не превышают допустимого значения. Экспериментально установлено, что энергия вещательного сигнала на уровне ниже номинального на 42-45 дБ практически равна нулю.

Длительность пауз вещательных сигналов колеблется в широких пределах и может достигать до 3 с и более, но вероятность появления пауз  $>2$  с мала. Плотность вероятности распределения пауз по длительности наибольшая в интервале 50...150 мс и быстро убывает вне этого интервала. Для речевых программ в среднем приходится 913 пауз в час, для музыкальных – 200. Длительность пауз составляет 5% от времени передачи, а с учётом перерывов между передачами может достигать до 8,6% (первая программа), 5,1% (Маяк), до 14% (третья программа).

Хорошей аппроксимацией закона распределения длительности пауз активной речи (художественное чтение; речь, произносимая без подготовленного текста) является выражение:

$$W(t_{II}) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{t_{II} - t_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t_{II} - t_0}{\alpha} \right)^{\beta} \right],$$

где  $\alpha > 0$  – параметр масштаба;

$\beta > 0$  – параметр формы;

$t_0$  – характеризует центр распределения ( $t_0 \leq t_{II}$ );

$t_{II}$  – длительность паузы.

По данным экспериментов  $t_0=0,2$  с,  $\beta=0,7$ ;  $\alpha=0,5$  для группы студентов и  $\alpha=0,25$  для группы общественных деятелей и писателей. Средние длительности пауз для этих групп составляют 0,4 и 0,71 соответственно.

Среднее время длительности пауз для активной речи существенно выше, чем для пассивной (чтение заранее подготовленного текста информационного характера), и составляет (от общего времени

передачи) 55% для группы студентов и 47,5% для группы общественных деятелей.

### **Текущая, среднeminутная и долговременная мощности сигналов звукового вещания.**

Если  $U(\xi)$  представляет собой изменение во времени мгновенных значений напряжения СЗВ, то его текущая мощность

$$P(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\tau} \exp\left(-\frac{\tau-\xi}{T}\right) U^2(\xi) d\xi, \quad \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{\tau-\xi}{T}\right) - \text{весовая функция.}$$

Аппроксимации закона распределения значений текущей мощности во времени.

$$\text{для речевых сигналов: } W(P) = 0,39 \exp\left(-\frac{P}{\bar{P}}\right) - 0,25 \exp\left(-5,7 \frac{P}{\bar{P}}\right);$$

$$\text{для музыкальных сигналов: } W(P) = 0,24 \exp\left(-\frac{P}{\bar{P}}\right) - 0,17 \exp\left(-4 \frac{P}{\bar{P}}\right).$$

Эти зависимости соответствуют экспериментальным данным, усреднённым по множеству реализаций (выборки) отдельно для речевых (пять отрывков) и музыкальных (свыше 30 отрывков разных типов программ).

$\bar{P}$  – среднее значение текущей мощности (МО P).

Для большинства жанров СЗВ наиболее вероятные значения текущей мощности лежат на 3 дБ ниже долговременной средней мощности  $\bar{P}$  (исключение составляет звучание эстрадной музыки и хора с оркестром, где отклонения текущей мощности от  $\bar{P}$  в ту или другую сторону равновероятны и приблизительно одинаковы). При предварительной установке регуляторов уровня следует ориентироваться на  $\bar{P}$ .

Уровень среднeminутной мощности определяется отношением

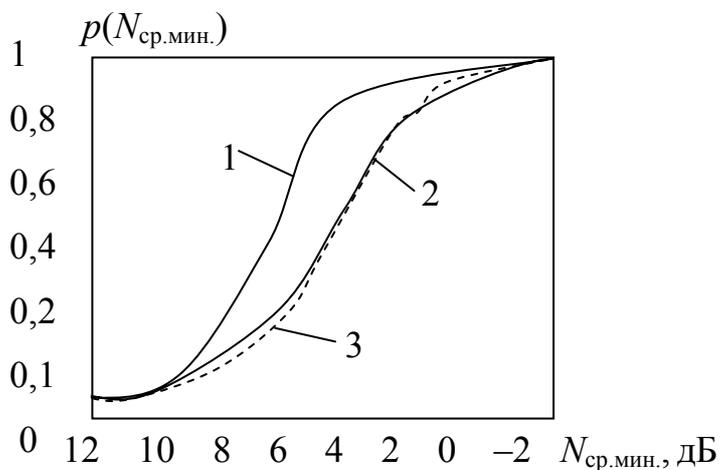
$$U_{\text{ср.мин.}} = 10 \lg \left( \frac{P_{\text{ср.мин.}}}{P} \right) = 10 \lg \left( \frac{U_{\text{ср.мин.}}}{U_{\text{sin}}^2} \right),$$

где  $U_{\text{sin}}$  – эффективное значение синусоидального напряжения (обычно частотой 1000 Гц), равное квазимаксимальному значению  $N_{\text{КВ.МАКС.}}$ , вероятность превышения которого 0,02,

$U_{\text{ср.мин.}}$  – среднее значение напряжения за время анализа  $T=1$  мин. Величину  $U_{\text{ср.мин.}}$  называют также относительной среднeminутной мощностью СЗВ.

Для неё распределение уровней среднeminутной мощности СЗВ для первой (1) и второй программ общесоюзного звукового вещания (1 и 2 – экспериментальные данные, 3 – аппроксимация для 2-й программы, теоретическая зависимость).

Первая программа – 60-65% речевых передач (“Эхо Москвы”)  
35-40% джазовой и симфонической музыки.



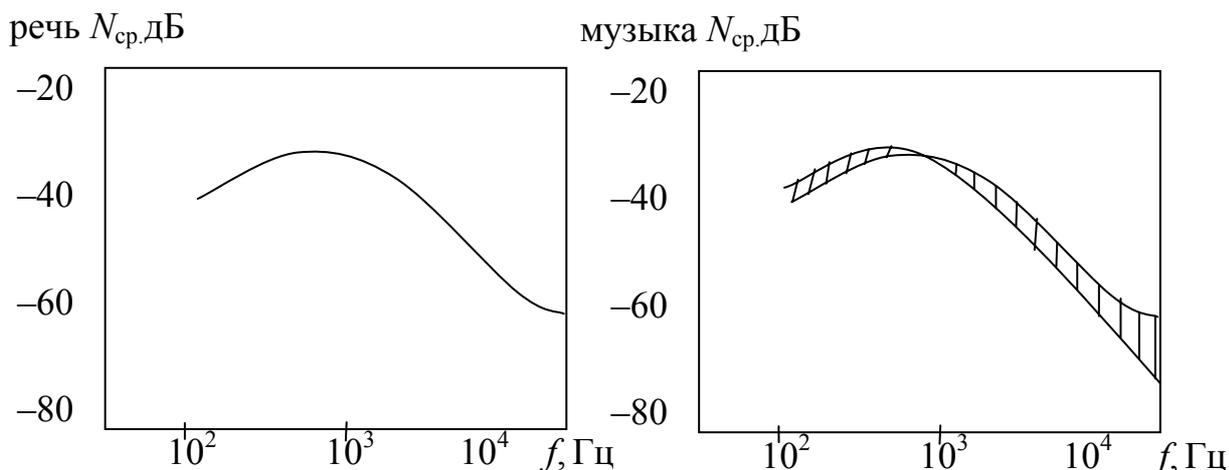
Приведённые зависимости 1 и 2 хорошо аппроксимируются законом

$$P(N_{\text{ср.мин.}}) = 1 - \exp\left(-\frac{N_{\text{ср.мин.}}^2}{2\alpha^2}\right)$$

$\alpha$  - параметр закона распределения.

Уровнем долговременной средней мощности называется выраженное в децибелах отношение мощности СЗВ, полученной в результате усреднения всех её значений (например  $N_{\text{ср.мин.}}$ ) за всё время передачи данной программы в течение суток, к квазимаксимальному значению.

## Спектральная плотность мощности. Средние уровни СПМ.



Для современной музыки характерен более равномерный спектр (больше уровень высоких частот)

### Динамический диапазон и средняя мощность СЗВ.

Согласно определению международной организации по радиовещанию и телевидению динамический диапазон это или отношение максимального давления к минимальному или отношение соответствующих напряжений. Однако это определение не содержит сведений о том, что подразумевать под максимальным или минимальным давлением или напряжением.

Как уже упоминалось, принято считать квазimaxимальным такое значение, вероятность превышения которого 0,01...0,02; квазiminимальным – вероятность превышения которого 0,01...0,02. По Сапожкову 0,01 и 0,99 для речи; 0,02...0,98 для музыки.

Динамический диапазон акустического вещательного сигнала:

$$D_a = 20 \lg \frac{P_{\text{зв.кв.макс.}}}{P_{\text{зв.кв.мин.}}} = 20 \lg \frac{P_{\text{зв.кв.макс.}}}{P_{\text{ЗВ0}}} - 20 \lg \frac{P_{\text{зв.кв.мин.}}}{P_{\text{ЗВ0}}}$$

Динамический диапазон энергетического вещательного сигнала:

$$D_\varepsilon = 20 \lg \frac{U_{\text{зв.кв.макс.}}}{U_{\text{зв.кв.мин.}}} = 20 \lg \frac{U_{\text{зв.кв.макс.}}}{U_0} - 20 \lg \frac{U_{\text{зв.кв.мин.}}}{U_0},$$

где  $P_{\text{ЗВ0}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$  – минимальное значение звукового давления, соответствующее порогу слышимости в области максимальной чувствительности уха 1...4 кГц.

$U_0 = 0,775\text{В}$  – напряжение на нагрузке 600 Ом, на которой выдаётся 1 мВт.

Динамический диапазон, определяемый приведёнными выражениями можно назвать теоретическим. Динамический диапазон СЗВ можно также определить как разность максимального и минимального уровней для достаточно большого по длительности интервала наблюдения  $D_c = N_{\text{макс.}} - N_{\text{мин.}}$ .

Это значение существенно зависит от выбранного времени интегрирования измерителя уровней. Чем больше  $T$ , тем в меньшей степени будут регистрироваться кратковременные выбросы СЗВ, тем меньшим окажется найденное значение  $D_c$ . Теоретически значения  $D_a$  и  $D_\varepsilon$  всегда больше экспериментального  $D_c$  для одного и того же отрывка.

Динамические диапазоны отдельных типов акустических, музыкальных и речевых сигналов, измеренные с помощью приборов, показания которых соответствуют слуховому восприятию уровня громкости ( $T=60$  мс) составляют в среднем: для симфонического оркестра – 60 дБ; для эстрадной музыки – 35 дБ; для джазового оркестра – 20 дБ; для хора – 47 дБ; для солистов-вокалистов – 35 дБ; для речи диктора – 25 дБ.

При воспроизведении речи максимальный акустический уровень 80...86 дБ; при воспроизведении музыки до 90...100 дБ. Оркестр создаёт предельно большие звуковые давления (до 40 Па), но вероятность их возникновения и длительность непрерывного существования ничтожно малы. Среднее звуковое давление, создаваемое оркестром на расстоянии 4 м от эстрады 0,5...0,7 Па, а создаваемое оркестром на расстоянии 1 м – 0,1 Па.

Пиковое значение мощности изменяется в очень широких пределах от одного музыкального инструмента к другому: треугольник – 0,05 Вт; саксофон – 0,29 Вт; большой барабан – 24,6 Вт. Для симфонического оркестра пределы изменения мощности 8,2...66,5 Вт, но типично 10...14 Вт.

Разность между квазimaxимальным и усреднённым за длительный промежуток времени уровнями называют пик-фактором:  $\Pi = N_{\text{КВ.макс.}} - N_{\text{ср.}}$  (пик-фактор показывает, насколько ниже средний уровень по сравнению с квазimaxимальным). Для музыкальных

сигналов он может достигать 20 дБ и более, для речевого сигнала в среднем 12 дБ.

Передача СЗВ по каналу звукового вещания возможна без искажений, если  $D_c < D_k$ . Так как для реальных акустических сигналов это условие в ряде случаев не выполняется, то необходима предварительная обработка СЗВ, заключающаяся в сокращении его динамического диапазона.

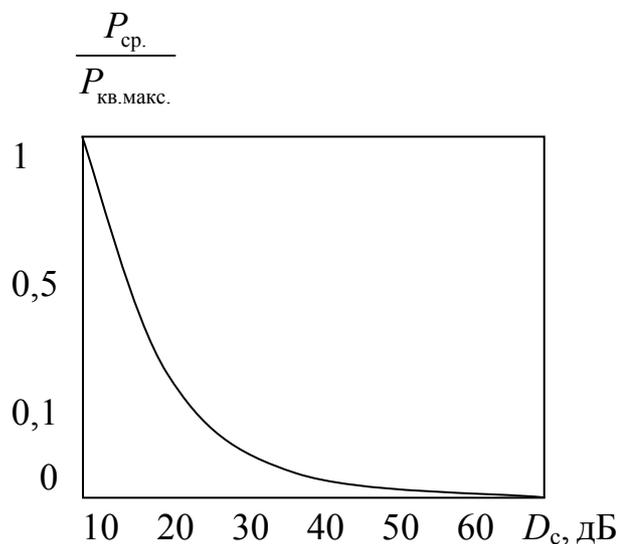
Если принять, что распределение уровней СЗВ во времени подчиняется закону Гаусса, то отношение средней мощности СЗВ к квазimaxимальной

$$\frac{P_{\text{ср.}}}{P_{\text{кв.макс.}}} = \exp\left[-0,115D_c\left(1 - \frac{0,115D_c}{2z_{\text{макс.}}^2}\right)\right] \cdot \left[\Phi\left(z_{\text{макс.}} - \frac{0,115D_c}{z_{\text{макс.}}}\right) - \Phi\left(z_{\text{мин.}} - \frac{0,115D_c}{z_{\text{мин.}}}\right)\right]$$

где  $D_c$  - динамический диапазон сигнала звукового вещания;

$$z_{\text{макс.}} = \left(\frac{N_{\text{кв.макс.}}}{\sigma}\right) = 2,05; \quad z_{\text{мин.}} = -2,05$$

С помощью приведённого выражения был получен график.



Изменение относительной средней мощности СЗВ от динамического диапазона (среднестатистические данные).

При реальных значениях  $D_c=20\dots40$  дБ в трактах систем звукового вещания отношение  $\frac{P_{\text{ср.}}}{P_{\text{кв.макс.}}} = 0,053\dots0,155$  т.е.  $\ll 1$ .

Столь малое отношение средней мощности к минимальной свидетельствует о том, что режим номинальной мощности достигается лишь в течение незначительной части общего времени передачи. Это следует учитывать при разработке аппаратуры, особенно мощных вещательных усилителей, развивающих номинальную мощность в течение коротких (длительностью не более 10...20 мс) промежутков.

### **Формирование, преобразование и обработка сигналов ЗВ. Автоматические регуляторы уровня.**

Необходимость регулировки уровня объясняется тем, что исходные необработанные сигналы часто имеют большой динамический диапазон (симфоническая музыка до 80 дБ), а устройства хранения, передачи и воспроизведения  $\approx 40 - 60$  дБ.

По критерию инерционности:

- 1) Безинерционные АРУ;
- 2) Инерционные АРУ;

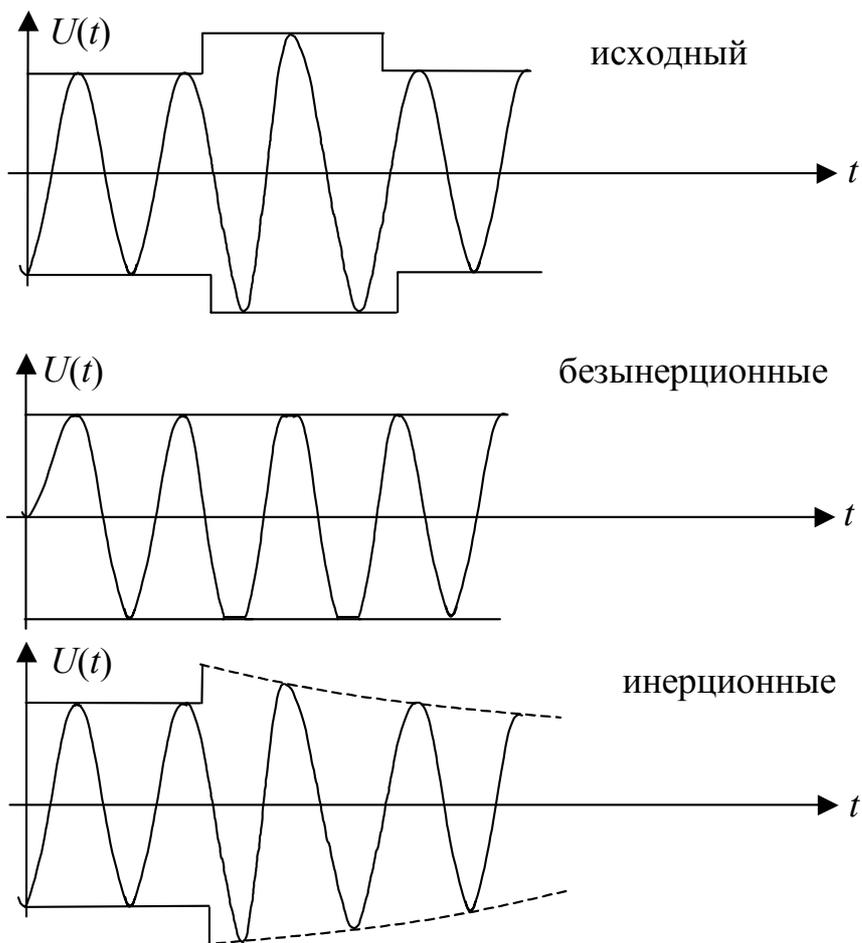


Рисунок.

В зависимости от выполняемых функций АРУ делится на:

- 1) Ограничением квазимаксимального уровня;
- 2) Автостабилизаторы;
- 3) Компрессоры (сжиматели) динамического диапазона;
- 4) Экспандеры (расширители) динамического диапазона;
- 5) Компандерные шумоподавители;
- 6) Пороговые шумоподавители;
- 7) Устройства со сложным преобразованием динамического диапазона;

Компрессор + экспандер = компандер, который используется для шумоподавления.

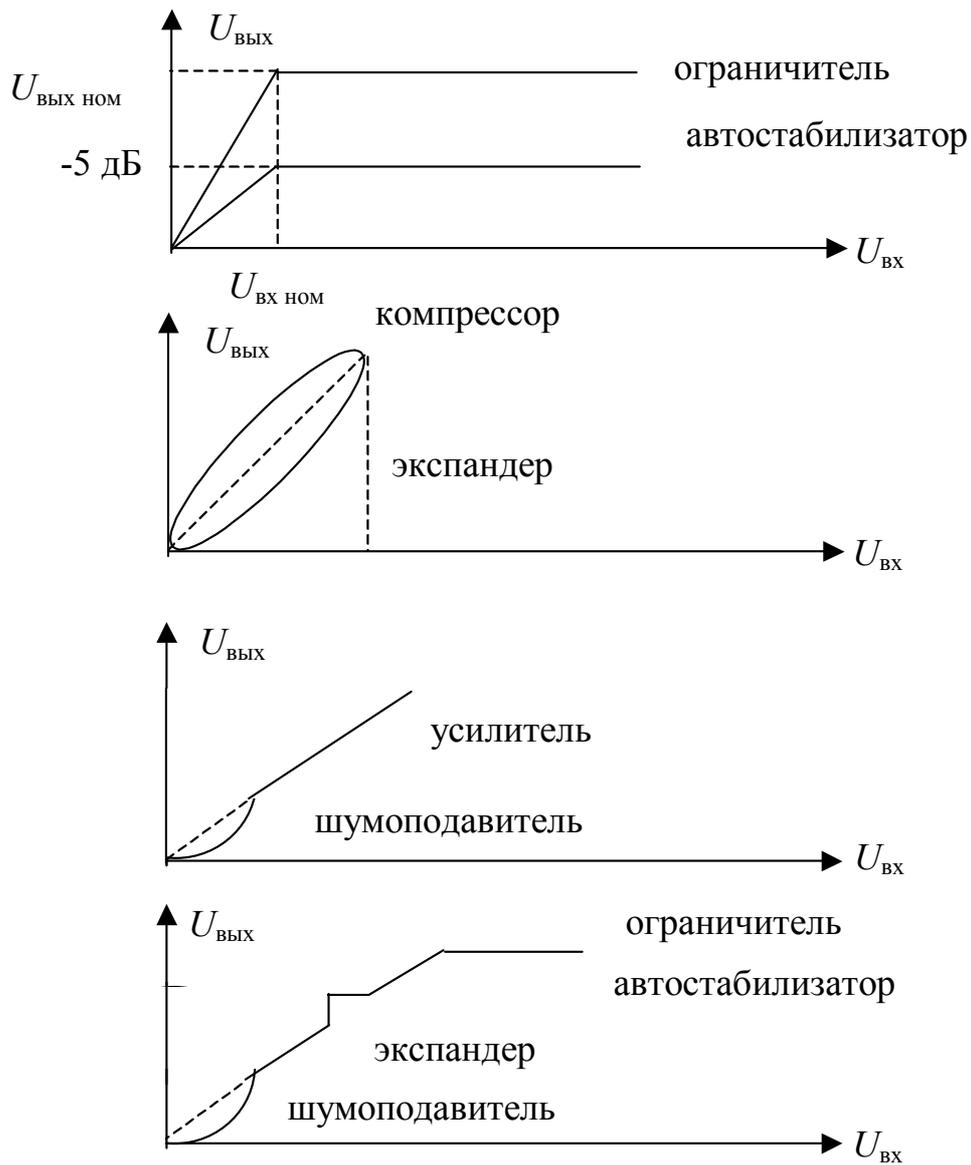


Рисунок.

Для оценки инерционности АРУ введены две временные характеристики:

- 1) Время срабатывания
- 2) Время восстановления

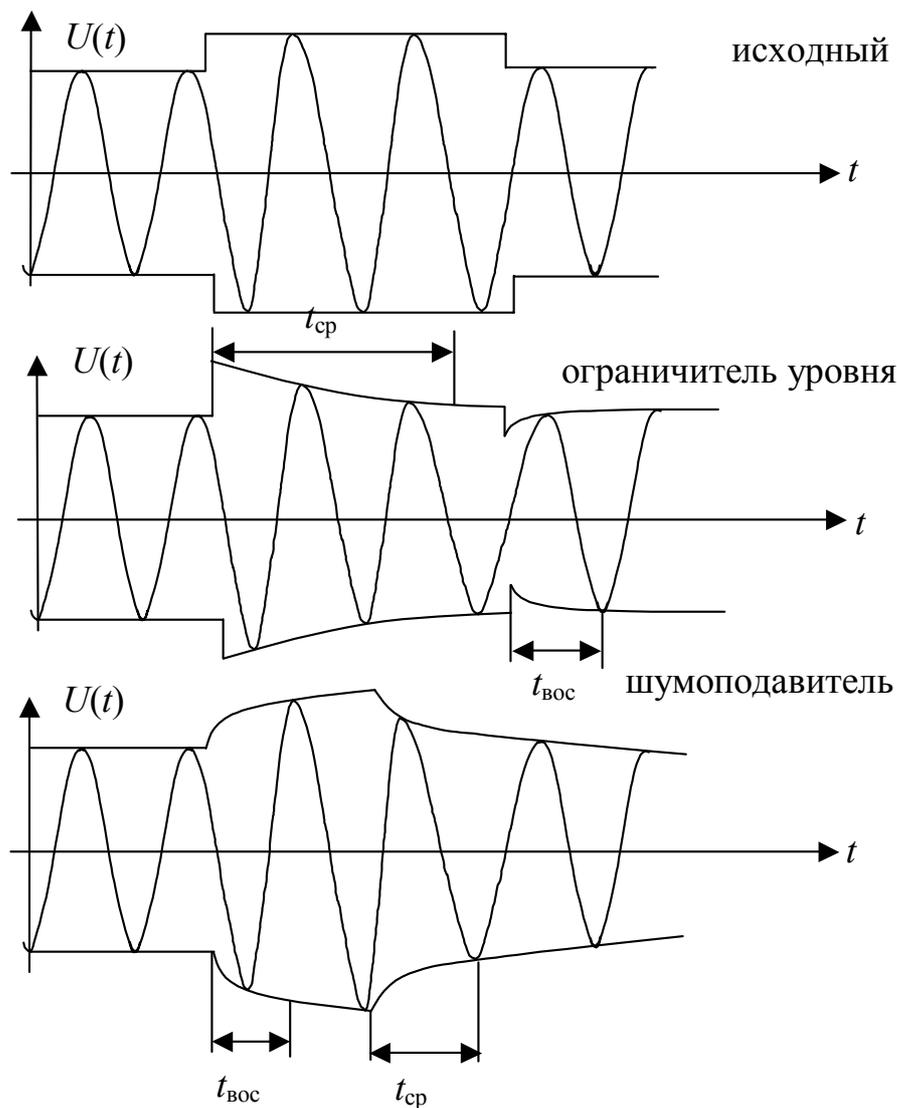


Рисунок.

Для ограничителей уровня, защищающих от перегрузок элементы тракта ЗВ (радиопередатчики, усилители проводного вещания):

$$t_{\text{ср}} \approx 0,5 \dots 1 \text{ мс}$$

$$t_{\text{вос}} \approx 1,5 \text{ с}$$

У некоторых ограничителей скорость процесса восстановления автоматически изменяется в зависимости от формы звукового сигнала.

Речевые компрессоры:

$$t_{\text{ср}} = 1 \dots 2 \text{ мс}$$

$$t_{\text{вос}} = 300 \text{ мс}$$

У музыкальных компрессоров обычно есть возможность выбора  $t_{\text{вос}} = 0,1 \dots 2$  мс

Для шумоподавителей:  $t_{\text{cp}} = 200 \dots 300$  мс  
 $t_{\text{вос}} = 1 \dots 5$  мс

При меньшем времени срабатывания реверберационный процесс затухания сигнала будет резко ослабляться, что является неестественным для слуха. Выбирать  $t_{\text{вос}} > 5$  мс нельзя, так как при появлении полезного сигнала шумоподаватель будет медленно восстанавливать свой коэффициент передачи и первые слоги речи будут существенно ослабляться.

### **Шумоподаватели. Предыскажающие контура.**

Спектр сигналов ЗВ имеет значительную неравномерность, спад особенно заметен в области ВЧ, в тоже время шум распределен по спектру равномерно, это позволяет улучшить отношения сигнал/шум на выходе приемника за счет использования предыскажающих и восстанавливающих контуров, включая их на входе и выходе канала.

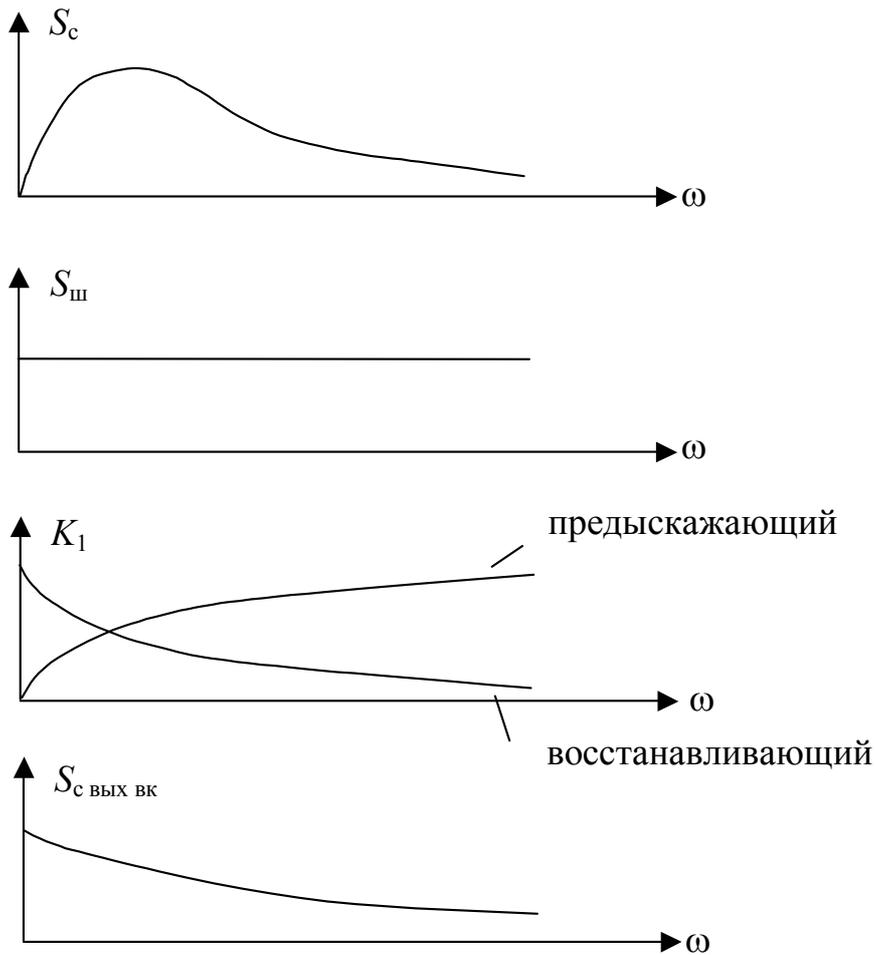


Рисунок.

Коэффициент передачи предискажающего контура  $K_{ПК}(\omega)$  выбирают так, чтобы обеспечить подъем тех спектральных составляющих сигнала, уровень которых относительно мал. Предыскажения не должны увеличивать общей мощности сигнала.

$$P_c = \int_{\Omega_H}^{\Omega_B} S_{\text{ВЫХ ВК}}^2(\omega) d\omega = \int_{\Omega_H}^{\Omega_B} S_c^2(\omega) d\omega = \text{const}$$

$K_{\text{ВК}}(\omega) = 1/K_{\text{ПК}}(\omega)$  - условие отсутствия искажений

$$S_{\text{ВЫХ ВК}}(\omega) = S_c(\omega) \cdot K_{\text{ПК}}(\omega) = S_c(\omega)$$

Шум проходит только через восстановленный контур:

$$S_{\text{Ш ВЫХ ВК}}(\omega) = S_{\text{Ш}}(\omega) \cdot K_{\text{ВК}}(\omega)$$

Т.к. коэффициент передачи восстановленного контура на ВЧ  $< 1$ , то общая мощность шума на его выходе уменьшается, получается выигрыш можно оценить по изменению отношения сигнал/шум при наличии предискажений и их отсутствии.

$$\frac{\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{ПК-ВК}}}{\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}} = \frac{P_c}{\frac{\int_{-\Omega_{\text{H}}}^{\Omega_{\text{B}}} S_{\text{ш}}(\omega) \cdot K_{\text{ВК}}^2(\omega) d\omega}{P_c}} = \frac{\int_{\Omega_{\text{H}}}^{\Omega_{\text{B}}} S_{\omega}(\omega) d\omega}{\int_{\Omega_{\text{H}}}^{\Omega_{\text{B}}} S_{\text{ш}}(\omega) \cdot K_{\text{ВК}}^2(\omega) d\omega}$$

$\Omega_{\text{H}}$  и  $\Omega_{\text{B}}$  – НЧ и ВЧ полезного сигнала.

### Компандерная система.

Система состоит из компрессора (вх.) и экспандера (вых.). Связь между напряжениями на входе компрессора и выходе экспандера можно описать степенными функциями:

$$U_{\text{ВЫХ К}} = U_{\text{ВХ К}}^{\gamma_{\text{К}}}$$

$$U_{\text{ВЫХ Э}} = U_{\text{ВХ Э}}^{\gamma_{\text{Э}}}$$

$\gamma_{\text{К}}$  и  $\gamma_{\text{Э}}$  – коэффициенты сжатия и расширения.

Максимальное и минимальное значения сигнала на входе и выходе компрессора:

$$U_{\text{ВЫХ К max}} = U_{\text{ВХ К max}}^{\gamma_{\text{К}}}$$

$$U_{\text{ВЫХ К min}} = U_{\text{ВХ К min}}^{\gamma_{\text{К}}} \quad (1)$$

Максимальное и минимальное значения сигнала на входе и выходе экспандера:

$$U_{\text{ВЫХ Э max}} = U_{\text{ВХ Э max}}^{\gamma_{\text{Э}}}$$

$$U_{\text{ВЫХ Э min}} = U_{\text{ВХ Э min}}^{\gamma_{\text{Э}}} \quad (2)$$

Перейдя от напряжений к электрическим уровням:

$$N_{\text{ВЫХ К}} = \gamma_{\text{К}} \cdot N_{\text{ВХ К}}$$

$$N_{\text{ВЫХ Э}} = \gamma_{\text{Э}} \cdot N_{\text{ВХ Э}}$$

Поделив в (1) и (2) первое равенство на второе получим:

$$D_{\text{к вых}} = \gamma_{\text{к}} \cdot D_{\text{к вх}}$$

$$D_{\text{э вых}} = \gamma_{\text{э}} \cdot D_{\text{э вх}}$$

$D$  [дБ] – динамический диапазон.

Из последних выражений видно, что  $\gamma_{\text{к}}$  и  $\gamma_{\text{э}}$  показывают во сколько раз изменяется динамический диапазон сигнала компрессора и экспандера. В процессе работы компрессор вносит в сигнал искажения, которые экспандер должен скомпенсировать:

$$\frac{U_{\text{вых э}}}{U_{\text{вх к}}} = \frac{(U_{\text{вх э}})^{\gamma_{\text{э}}}}{(U_{\text{вых к}})^{1/\gamma_{\text{к}}}} = 1$$

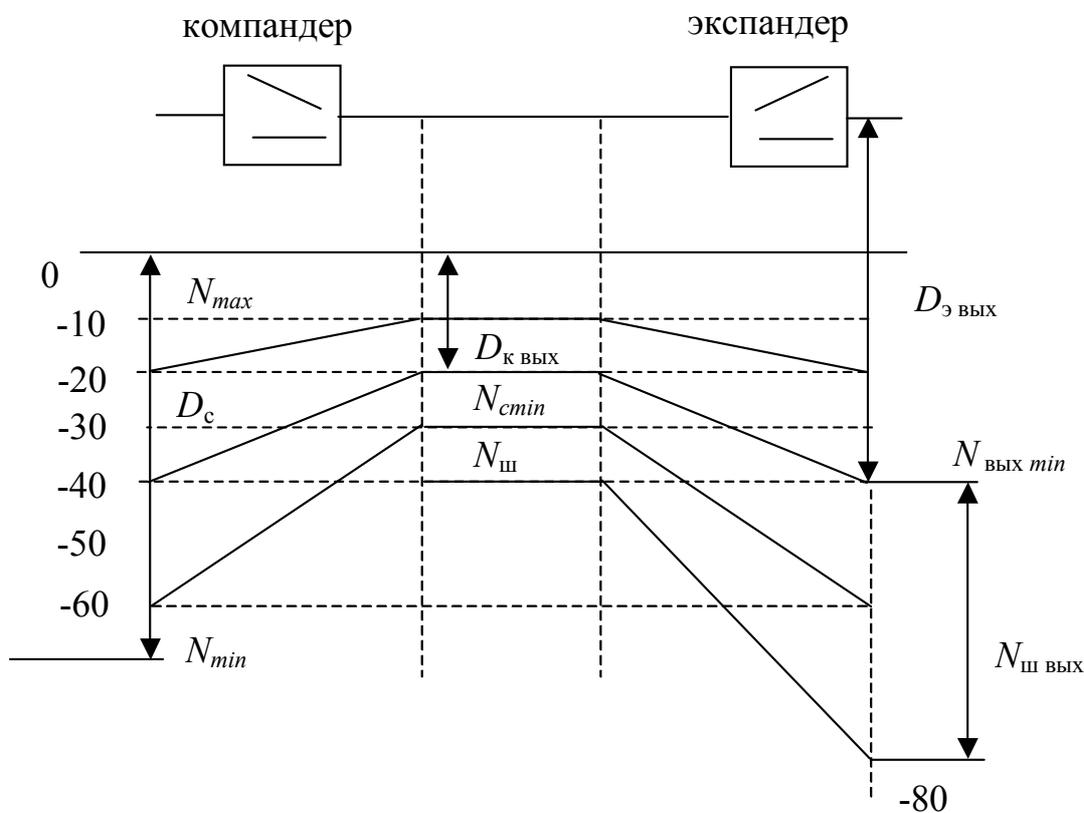
$\gamma_{\text{к}}$  и  $\gamma_{\text{э}}$  – условие отсутствия искажений в компандерной системе.

Обычно в ЗВ:

$$\gamma_{\text{к}} = 0,5; \gamma_{\text{э}} = 2$$

Рассмотрим как компандирование позволяет улучшить отношение сигнал/шум на выходе канала передачи.

Диаграмма уровней



Пусть динамический диапазон сигнала  $D_c=60$  дБ. Уровень шума  $N_{ш}=-40$  дБ, т.е. уровень шума в канале на 20 дБ превышает уровень слабых сигналов и в процессе передачи но и будут скрыты в шумах.

Пусть  $\gamma_k=0,5$ , следовательно  $D_{к\text{ вых}}=30$  дБ.

Каждый из входных уровней уменьшается в два раза. В канале передачи на шкале уровней сигнал займет диапазон от 0 до -30 дБ и его минимальный уровень окажется на 10 дБ выше уровня шума. Уровень шума на выходе экспандера на 20 дБ ниже уровня полезного сигнала, т.о. использование компандера позволяет передать сигнал по каналу, динамический диапазон которого меньше динамического диапазона самого сигнала. Выигрыш в отношении сигнал/шум равен 10 – 13 дБ.

Недостатки описанного компандера:

Наличие эффекта модуляции сигнал/шум. В компандере максимальное шумоподавление в паузе и при слабых сигналах. А при максимальных уровнях сигнала отношение сигнал/шум не меняется, следовательно уровень шума на выходе меняется в такт с сигналом, при совпадении спектров сигнала и шума модуляция не сказывается на восприятии, т.к. шум маскируется сигналом. А если например передается НЧ сигнал, то ВЧ шум начинает изменяться по уровню в такт с сигналом и оказывается сильно заметным.

Другим недостатком является появление нелинейных искажений в переходных режимах (при срабатываниях и восстановлениях компрессора и экспандера), вызванных несовпадением их АЧХ и ФЧХ, а также неоптимальным выбором постоянной времени цепей регулирования, связано это с тем, что с одной стороны переходной процесс должен быть настолько коротким, чтобы при скачкообразном увеличении уровня входного сигнала не возникло выброса, приводящего к перегрузке системы. Для выполнения этого требования постоянная времени срабатывания не должна превышать  $1/4$  периода максимальной частоты сигнала.

При максимальной частоте 20 кГц - время срабатывания 12,5 мкс.

С другой стороны чтобы избежать значительные нелинейные искажения НЧ составляющих сигнала скорость изменения коэффициента усиления должна быть достаточно малой.

При допустимом КНИ=0,2 % на частоте 20Гц, скорость изменения коэффициента усиления  $\leq 6$  дБ/с. При диапазоне регулирования 30 дБ, это означает  $t_{\text{восст}}=5$  с.

Отношение  $t_{\text{восст}}/t_{\text{ср}}=400000:1$ . При таком большом отношении, выбор постоянной времени должен подчиняться компромиссным соображениям.

### Полосные шумоподавители. Система Dolby – А.

В данной системе в значительной степени устранены недостатки рассмотренного компандера.

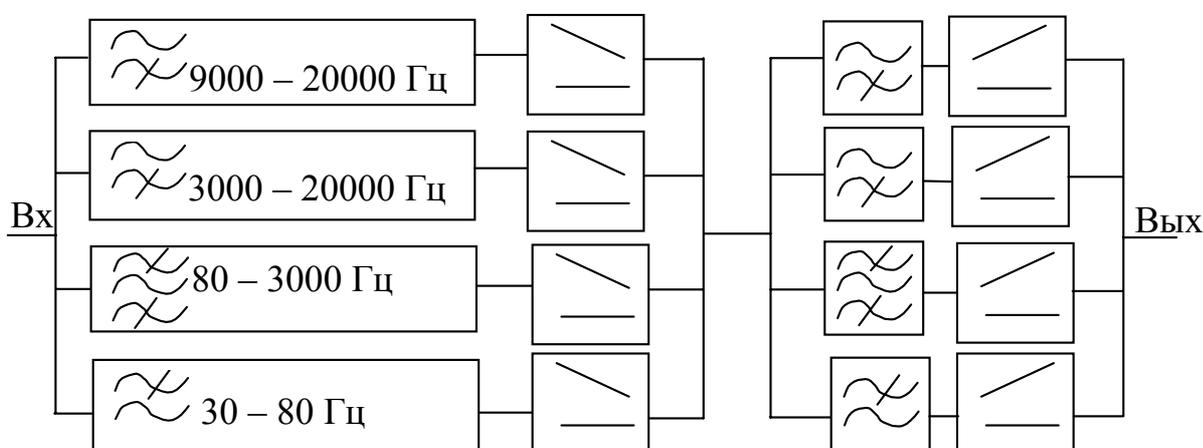


Рисунок.

При выборе полос пропускания фильтров учитывались психофизиологические условия восприятия шумов, например то что ВЧ шумы хорошо воспринимаются на фоне НЧ сигналов, но маскируют ВЧ. В приведенной схеме каждый компандер работает как отдельный шумоподавитель, поэтому сигнал сосредоточенный в пределах полосы пропускания одного из компандеров не будет управлять уровнем шума в других.

При этом не создается условий для появления программно модулированного шума.

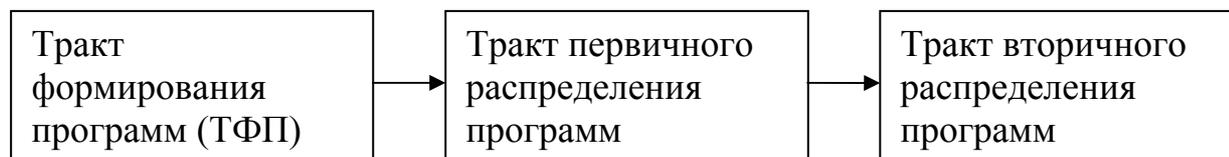
В пределах полосы пропускания каждого из компандеров отношение минимальной и максимальной частот относительно меньше чем в однополосном компандере. Минимальными оказываются и динамические нелинейные искажения. Деление спектра на 4, а не на большее число полос, определяется тем, что это обеспечивает приемлемое шумоподавление при небольшой

стоимости. Данная система используется в профессиональной студийной аппаратуре. В бытовой системе используется система Dolby – В. В ней шумоподавление с помощью компрессирования осуществляется только для полосы более 1000 Гц.

## Звуковое вещание

Звуковое вещание – это передача звуковой информации общего назначения широкому кругу территориально-рассредоточенных слушателей.

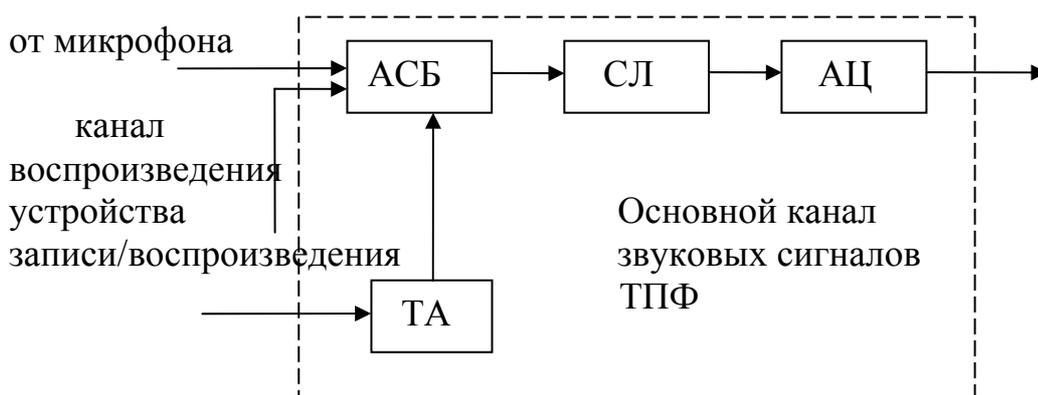
Электрический канал звукового вещания и передачи звуковых сигналов телевидения (ЭКЗВ) – совокупность технических средств, при помощи которых электрические сигналы звукового вещания передаются с выхода микрофона или магнитофона до антенны передатчика или абонентской розетки тракта проводного вещания. ЭКЗВ состоит из тракта формирования программ (ТФП) и трактов первичного и вторичного распределения программ.



## Тракт формирования программ

ТФП – часть ЭКЗВ, которая начинается на выходе микрофона или канала воспроизведения устройства записи/воспроизведения и заканчивается на выходе центральной аппаратной (АЦ) радиодома (РД), телецентра (ТЦ) или радиотелецентра (РТЦ).

### Типовой ТПФ



от СЛ

СЛ – соединительная линия

ТА – трансляционная аппаратура

АСБ – аппаратно-студийный блок

АПБ – аппаратно-программный блок.

Организационной формой ТПФ служат РД, ТЦ и РТЦ. РД и ТЦ – это комплексы сооружений и оборудования, предназначенные для подготовки, записи, формирования и передачи радио- и телевещательных программ потребителям, а также для обмена программами с другими РД и ТЦ.

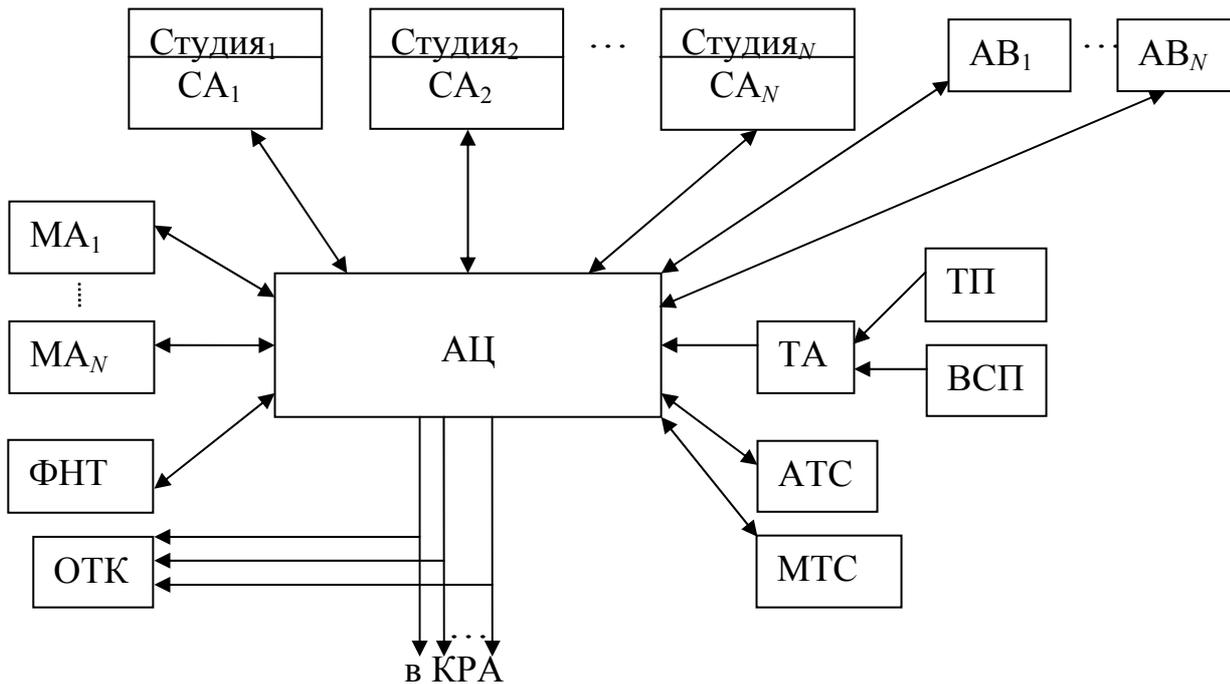
В зависимости от объемов собственного вещания РД и ТЦ делят на классы, чем больше объем собственного вещания, тем выше класс. Большие РД и ТЦ Москвы, С.-Петербурга и некоторых других крупных городов относятся к внеклассовым.

Таблица.

Объем вещания	Класс РД или ТЦ			
	1	2	3	4
Собственного РД	4,4...4,7	25...3,0	1,5...2,0	1,0
Местного ТЦ	16	3	1,5...2,0	1,0
в т.ч. собственного	8	2	0,5...1,0	0,8

Техническая часть РД или ТЦ – аппаратно-студийный комплекс АСК – совокупность взаимосвязанных функциональных блоков служб, размещенных в одном или нескольких зданиях и содержащих технические средства, с помощью которых ведется технический процесс формирования и выпуска программ звукового и телевизионного вещания.

## Схема АСК



АСБ и АПБ состоит из студии и СА – студийной аппаратурой.

АВ – аппаратная вещания.

МА – монтажные аппараты.

1) АМФ – аппараты монтажа фонограмм

2) АСМФ – аппараты сведения и монтажа фонограмм

3) АПП – аппараты подготовки программ

ФНТ – фонотека – для хранения готовых фонограмм – оригиналов.

АЦ – центральная аппаратная.

КРА – контрольно-распределительная аппаратная.

ОТК – отдел технического контроля.

ТП – городские трансляционные пункты.

ВСП – служба внестудийных передач.

В АСК РД и ТЦ располагается следующее основное техническое оборудование: микрофоны, магнитофоны; пульта диктора; звукорежиссерские микшерные пульта записи; вещательные микшерные пульта; пульта центральной аппаратной; контрольные громкоговорящие агрегаты; измерители уровня; пульта и сойки отдела технического контроля.

**Тракт первичного распределения программ звукового вещания** – это часть ЭКЗВ, которая начинается на выходе АЦ РД или

ТЦ, а заканчивается выходом СЛ от КРА, междугородного канала звукового вещания (МКЗВ) к тракту вторичного распределения или к АЦ РД или ТЦ другого города.

Канал звукового вещания является одним из типовых каналов, образуемых во Взаимосвязанной сети связи (ВСС).

ВСС РФ – комплекс технологически сопряженных сетей электросвязи на территории РФ, обеспеченный общим централизованным управлением, независимо ведомственной принадлежности и форм собственности на средства связи и организационно-правовой формы операторов сетей.

В соответствии с принципами ВСС на территории страны организуется первичная сеть типовых каналов и трактов, на базе которой строятся различные вторичные сети, отличающиеся по назначению, ведомственной принадлежности и т.д. Вторичными являются, например, телефонная сеть, телеграфная сеть, сеть передачи данных.

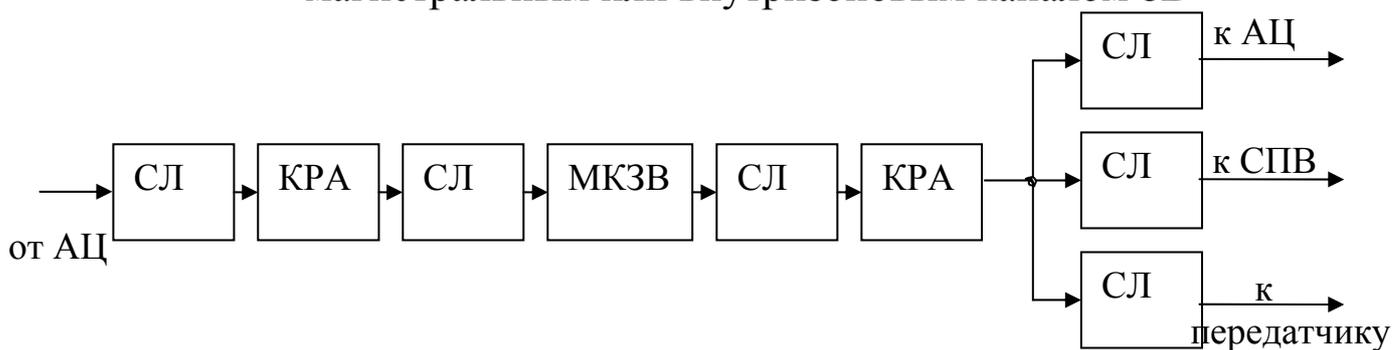
По территориальному признаку первичные сети делятся на магистральные, внутризональные и местные сети связи.

Магистральная (первичная) и междугородная вторичная сети связи – технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые между центрами РФ и центрами субъектов РФ, а также между центрами субъектов РФ.

Внутризональные (первичные и вторичные сети связи) – технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые в пределах одного субъекта РФ.

Местные (первичные и вторичные сети электросвязи) – технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые в пределах административной или определенной по иному принципу территории, не относящейся к региональным сетям связи.

## Типовой тракт первичного распределения программ ЗВ с магистральным или внутризонавым каналом ЗВ



Функции выполняемые КРА:

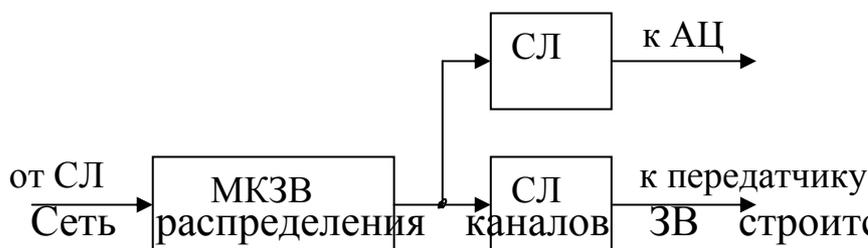
- управление за вещательными передатчиками и контроль за их работой
- распределение программ ЗВ по передатчикам и трактам проводного вещания; МКЗВ и радиодомам.
- контроль и усиление получаемых программ ЗВ
- корректировка АЧХ СЛ.

СПВ – станция, предназначенная для приема, преобразования, усиления сигналов ЗВ.

МКЗВ – междугородный канал ЗВ (канал между ОМВА различных городов)

ОМВА – оконечная междугородняя вещательная аппаратная – размещенная в областном или республиканском центрах аппаратная, осуществляющая контроль, резервирование и коммутацию МКЗВ и СЛ.

Типовой тракт первичного распределения звуковых сигналов телевидения с магистральным или внутризонавым каналом



строится по радиально-узловому принципу. Это означает, что вся территория страны разделена на ряд регионов, границы которых совпадают с границами административных районов. Центры регионов связаны с Москвой и между собой сетью каналов ЗВ на базе кабельных, радиорелейных и спутниковых систем связи. Через региональную узловую

магистральную вещательную аппаратную (РУМВА) программы ЗВ распределяются в основном по кабельным и РРЛ в республиканские областные и краевые центры, входящие в данный регион. В конечных пунктах (ОП) сети через совмещенные вещательные аппаратные (СВА) программы распределяются по всей территории области (зоны).

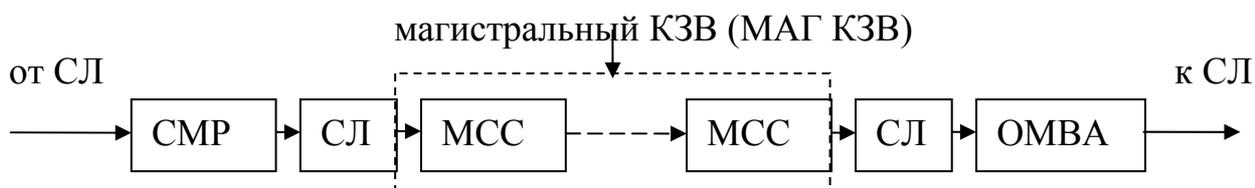
Т.к. территория России включает 11 часовых поясов, главные центральные теле- и радиoproграммы имеют четыре дубля.

Часовые пояса	Дубль
+10,+9,+8	1
+7,+6	2
+5,+4	3
+3,+2	4
+0,+1	Без дубля

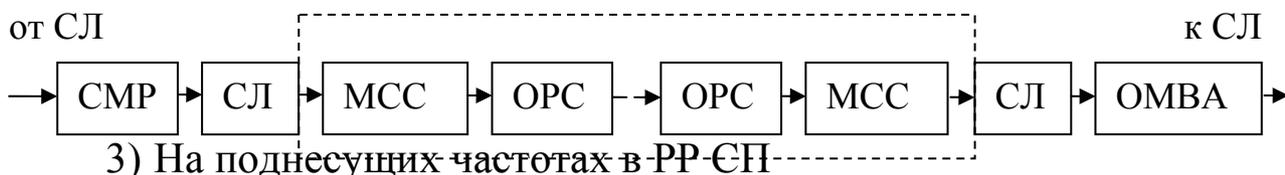
Основное звено МКЗВ – КЗВ. Имеются два типовых КЗВ – магистральный (МАГ КЗВ) и внутрizonовый (ВНЗ КЗВ).

Типовые междугородные каналы ЗВ в РРЛ, кабельных и спутниковых системах передачи (СП) с магистральным КЗВ

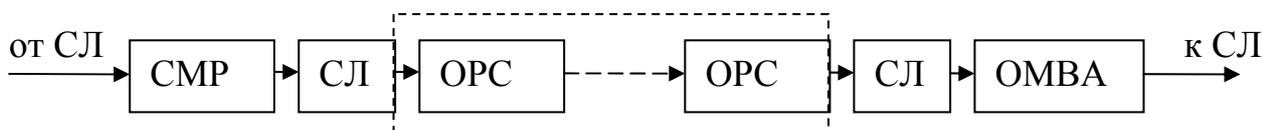
1) В кабельных СП



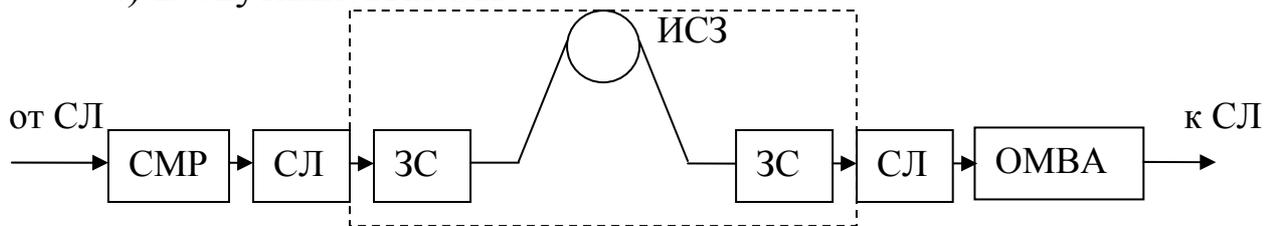
2) В телефонном стволе РР СП



3) На поднесущих частотах в РР-СП



#### 4) В спутниковых СП



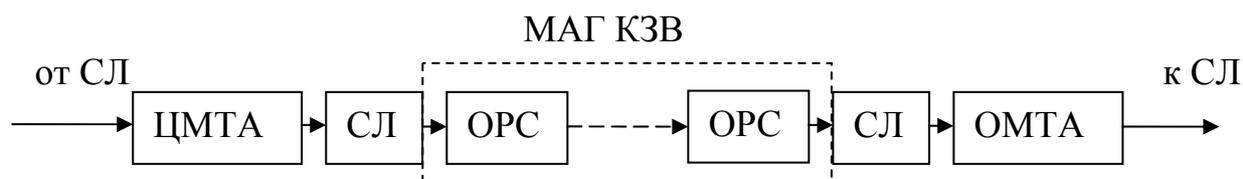
МСС – магистральная сетевая станция

ЗС – земная станция спутниковой СП

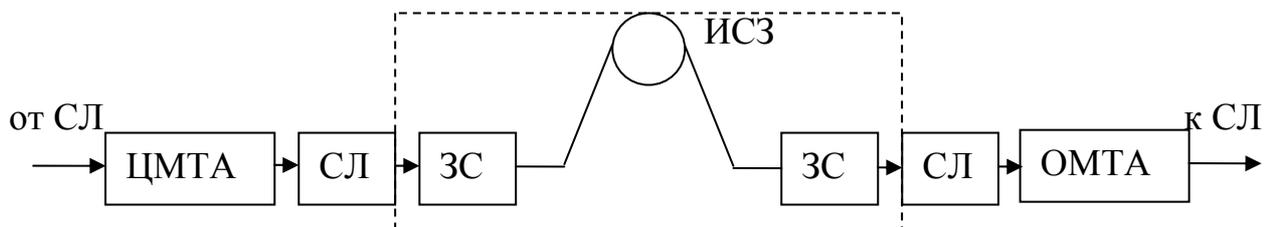
ОРС – оконечная РРС – РРС, устанавливаемая на конечных пунктах РРЛ и предназначенная для введения и выделения передаваемых по линии сообщений.

#### Типовые МКЗВ с магистральным каналом передачи звуковых сигналов телевидения

##### 1) На поднесущих частотах в РР СП



##### 2) В спутниковых СП

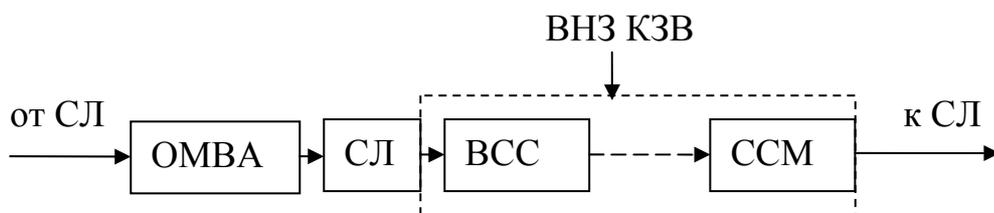


ЦМТА – центральная междугородная телевизионная аппаратура, расположенная в Москве и предназначенная для контроля, управления и распределения программ центрального ТВ.

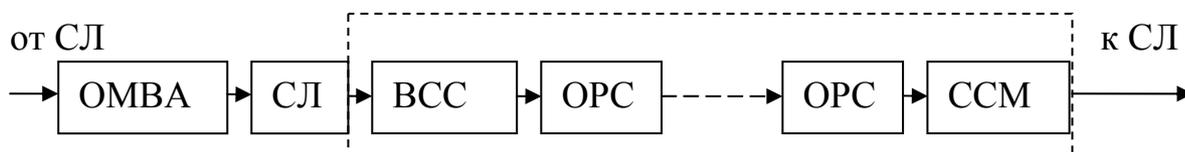
ОМТА – оконечная МТА – аппаратура, предназначенная для контроля и резервирования канала изображения и канала передачи звуковых сигналов телевидения, а также для распределения программ потребителя.

#### Типовые междугородные КЗВ (МКЗВ) в РР и кабельных СП с внутризоновым КЗВ (ВНЗ КЗВ)

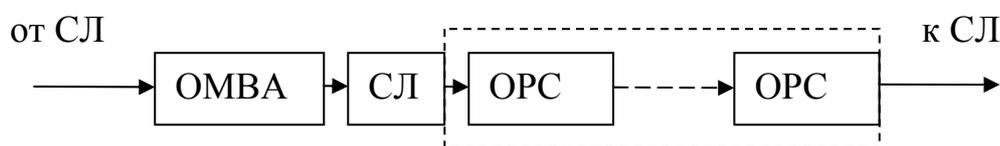
##### 1) В кабельных СП



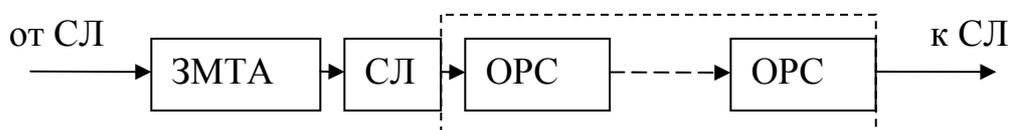
## 2) В телефонном стволе РР СП



## 3) На поднесущих частотах в РР СП



## Типовой МКЗВ с внутризональным каналом передачи звуковых каналов телевидения в РР СП



ВСС – внутризональная сетевая станция

ССМ – местная сетевая станция

ЗМТА – зональная междугородная телевизионная аппаратная – предназначена для контроля и распределения сигналов телевизионных программ по зональной сети, а также для дистанционного контроля и управления.

В последнее время в России МАГ КЗВ организуются большей частью с помощью спутниковых СП, по которым сигналы ЗВ передаются в цифровой форме. Например, в Башкирию все центральные радио- и телепрограммы получают через спутник.

В качестве внутризональных все шире применяются ВОЛС, которые заменяют РРЛ.

## Основные параметры качества КЗВ

1. Полоса передаваемых частот
2. Неравномерность АЧХ
3. Коэффициент гармоник
4. Защищенность от взвешенного шума – для трактов вторичного распределения – защищенность от невзвешенного шума
5. Защищенность от внятной переходной помехи
6. Отклонение выходного уровня от номинального значения
7. Коэффициент разностного тона
8. Изменение группового времени прохождения
9. Разность фаз в каналах А и В, образующих стереопару
10. Защищенность от внятных переходных помех между каналами А и В, образующих стереопару
11. Разность уровней на выходах каналов А и В, образующих стереопару.

Дополнительно для цифровых КЗВ

1. Защищенность от продуктов внутриполосной перекрестной модуляции второго и третьего порядка
2. Защищенность от продуктов внеполосной перекрестной модуляции первого и второго порядка.

## Классы качества каналов и трактов ЗВ

Сейчас аналоговые классы и тракты с полосой частот до

15 кГц (40 – 15000 Гц) – ранее внешний класс

10 кГц (50 – 10000 Гц) – ранее первый класс

6,4 (6,3) кГц (100 – 6400 Гц) – ранее второй класс

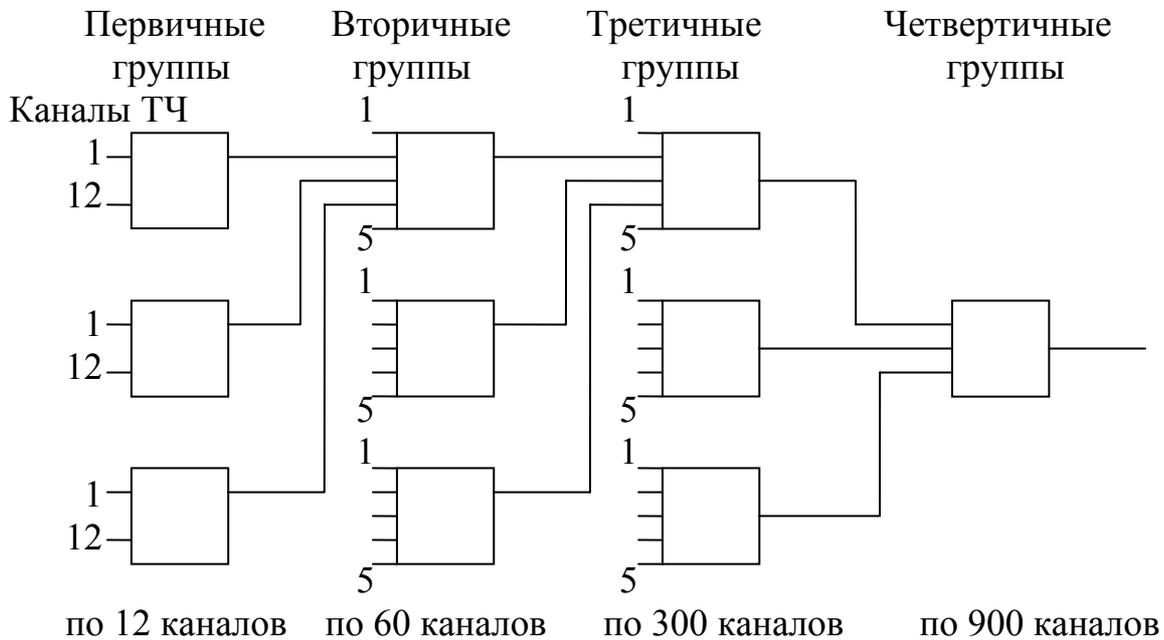
Цифровые КЗВ с полосой частот до 15 кГц (40 – 15000 Гц)

до 7 кГц (50 – 7000 Гц)

## Каналы ЗВ в аналоговых системах передачи (АСП)

В АСП применяется ЧРК, используются принципы многократного преобразования частоты и группообразования при формировании линейного спектра, что позволяет унифицировать основное каналообразующее оборудование (снизив его стоимость и расходы на эксплуатацию).

В системах ЧРК основным является канал тональной частоты ТЧ, по которому передаются сигналы с полосой 0,3...3,4 кГц. С учетом необходимости фильтрования на один канал ТЧ в спектре группового сигнала отводится 4 кГц.



На основе стандартных первичных, вторичных, третичных групп формируются многоканальные системы передачи с числом каналов от 12 до 10800.

Номинальная цепь МАГ КЗВ, образованного в кабельных и радиорелейных СП, характеризуется длиной 2500 км и наличием трех участков транзита по звуковой частоте.

Номинальная цепь МАГ КЗВ, образованного в спутниковых СП, характеризуется отсутствием транзитов по звуковой частоте и эквивалентна по своим качественным показателям, зависящим от длины, каналам наземных (кабельных и радиорелейных) СП длиной 2500 км.

Номинальная цепь ВНЗ КЗВ, образованного в кабельных СП и телефонных стволах радиорелейных СП, характеризуется длиной 600 км и отсутствием транзитов по звуковой частоте.

Номинальная цепь ВНЗ КЗВ, образованного на поднесущих частотах в радиорелейных СП, характеризуется длинами 600 и 250 км, отсутствием транзита по звуковой частоте, одинаковыми нормами на электрические параметры для указанных длин.

## Организация МКЗВ

По виду передаваемых сигналов МКЗВ делят на аналоговые и цифровые. Аналоговые каналы бывают звукочастотные и высокочастотные. Звукочастотные каналы имеют ограниченное применение в виду высокой стоимости. В настоящее время все ещё находятся в эксплуатации каналы, организованные на базе аппаратуры АВЭК. Эта аппаратура рассчитана на образование шести каналов вещания по экранированным цепям специально проложенных междугородных кабелей.

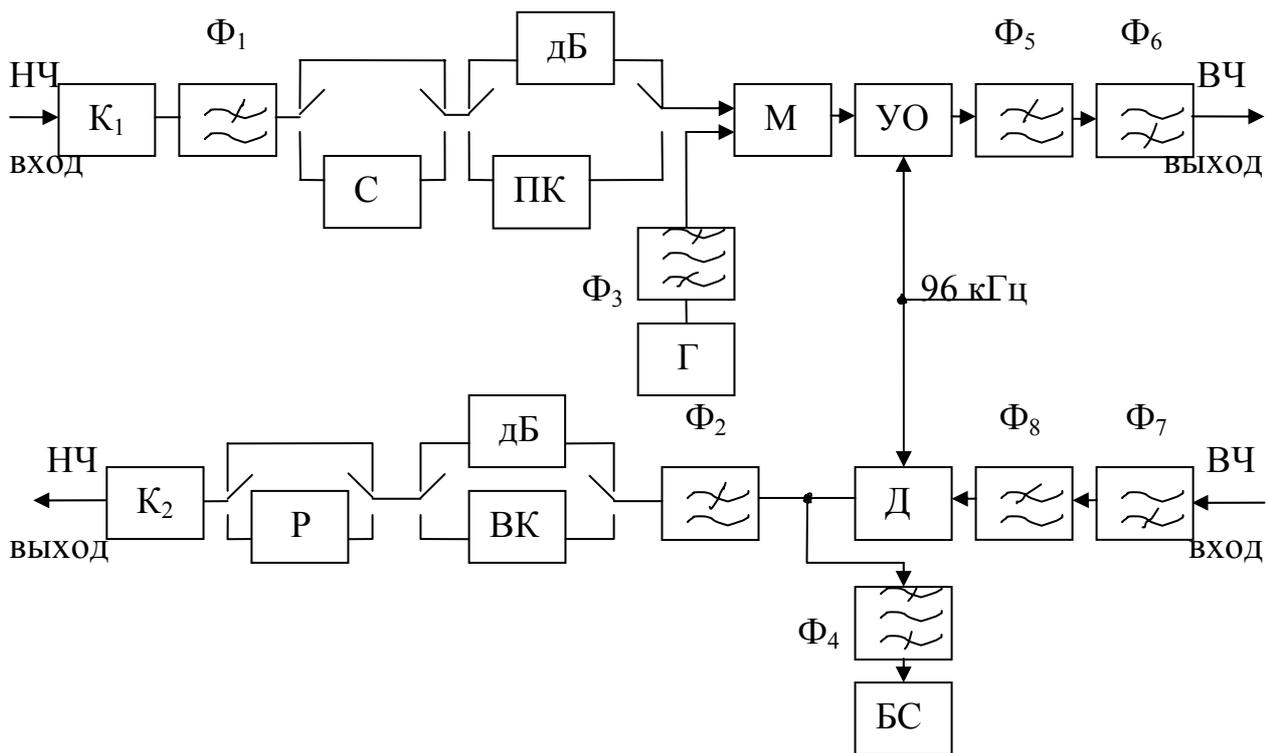
Более целесообразно вводить программы вещания в общий поток информации, который поступает по междугородным линиям систем передачи (СП), обладающим высокой пропускной способностью. Поэтому в настоящее время высокочастотные каналы стали преобладающими среди аналоговых МКЗВ. Более экономически выгодные, чем высокочастотные. Недостаток ВЧ МКЗВ – большой уровень шума по сравнению с высокочастотными.

Наиболее распространенной, но очень устаревшей, является аппаратура АВ – 2/3. С её помощью объединяют два или три канала 12-канальной первичной группы.

Таблица.

Число занимаемых телефонных каналов	2	3
Номера занимаемых телефонных каналов	4,5	4,5,6
Ширина канала ЗЧ, Гц	50...6400	50...10000

## Структурная схема аппаратуры АВ – 2/3



$K_1$  – частотный корректор, устраняющий искажения АЧХ, вносимые СЛ.

$\Phi_1$  – ФНЧ с  $f_{cp}=10$  кГц или  $f_{cp}=6,4$  кГц

С – сжиматель

ПК – предискажающий контур

С и ПК – устройство шумоподавления.

Устройство шумоподавления можно заменить удлинителем, затухание которого равно затуханию ПК на  $f=800$  Гц.

М – модулятор, выполнен по фазоразностной схеме. На его выходе подавляется верхняя боковая полоса и несущая частота. Несущая частота, подаваемая на вход модулятора, 96 кГц (т.е. совпадает с несущей четвертого канала ТЧ первичной группы).

УО – усилитель-ограничитель, защищает групповой тракт от перегрузок.

$\Phi_5$  – ФВЧ с  $f_{cp}=85$  кГц (для канала 10 кГц) или  $f_{cp}=88,8$  кГц (для канала 6,4 кГц)

$\Phi_6$  – ФНЧ с  $f_{cp}=95,95$  кГц

$\Phi_7$  – как  $\Phi_6$ ;  $\Phi_8$  – как  $\Phi_5$ .

Д – демодулятор, также построен по фазоразностной схеме.

$\Phi_2$  – ФНЧ, выделяющий низкочастотный полезный сигнал

Р – расширитель

ВК – восстанавливающий контур.

Р и ВК компенсируют изменения в сигнале, внесенные на передающей стороне сжимателем и предскажающим контуром. Если на передающей стороне С и ПК не включены, то вместо Р и ВК включается удлинитель.

$K_2$  – корректор, окончательно выравнивающий АЧХ тракта.

Через тракт, кроме звукового сигнала, проходит специальный контрольный сигнал в виде синусоидального колебания, уровень которого на 25...35 дБ ниже уровня вещательного сигнала. Он создается гетеродином Г и подмешивается к вещательному сигналу на входе модулятора. В приемной части он поступает на БС (блок сигнализации), который срабатывает при пропадании или понижении уровня контрольного сигнала.

Достоинство организации канала ЗВ в спектре первичной группы – возможность транзита по высокой частоте без демодуляции, что уменьшает искажения.

Описанный метод применяется в кабельных СП (с электрическими кабелями) и в РРЛ, при передаче в телефонном стволе РР СП.

Для передачи стереофонических программ нужно два монофонических канала с полосой 15 кГц с малыми рассогласованиями АЧХ и ФЧХ. (Рассогласование АЧХ на 1,5...2,0 дБ приводит к появлению пространственных искажений стереопанорамы, смещению источников звука от их истинного положения). Аналогично проявляются и фазовые рассогласования.

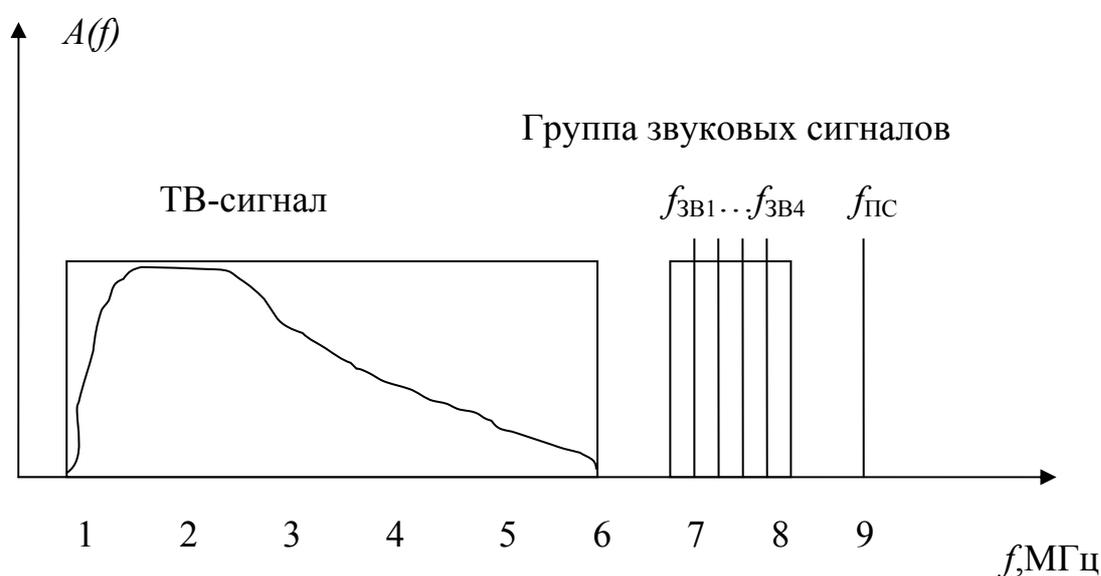
Организовать стереофонический канал, используя два монофонических канала, образованных в разных стандартных группах с ЧРК, невозможно. Например, АВ – 213 обеспечивает канал только 10 кГц, а не 15 кГц; при этом допускается неравномерность АЧХ до 2,5 дБ, а ФЧХ не нормируется, т.к. не используется синхронизация несущих на передающей и приемной стороне, фазовый сдвиг между каналами случаен и непрерывно меняется.

Характерный пример для организации стереофонического канала MST-15 (Siemens). Она формирует два идентичных канала ЗВ с полосой 15 кГц в спектре первичной группы. На каждый канал ТЧ отводится шесть каналов ТЧ (для синхронизации фаз на передающей и приемной стороне используется пилот тоны в каждом канале).

## Передача сигналов ЗВ на поднесущих частотах в РРСЦ.

Для передачи сигналов в высокочастотном стволе РРЛ используют полосу частот от 50 до 9 МГц. В полосе до 6 МГц размещают ТВ сигнал или 1920 телефонных каналов. Полоса частот от 6 до 9 МГц (по другим данным от 7 до 8 МГц) отводится для передачи на поднесущих частотах от двух до четырех сигналов ЗВ, в том числе звукового сопровождения телевизионной программы. Ещё выше передается пилот- сигнал.

Спектр частот сигналов в РРЛ типа «КУРС».



Любые два канал одного ствола РРЛ можно использовать для стереопередачи, так как по наличию коэффициентов передачи, разности фаз, коэффициенту гармоник и переходному затуханию они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к стереоканалам.

## Спутниковые СП.

В условиях России- большая территория и относительно низкая плотность населения, спутниковая СП хорошо подходит для организации МАГ КЗВ (с ними могут соперничать ВОЛС, когда нужна очень большая пропускная способность) .

Для вещания применяют геостационарную или высокую эллиптическую орбиту.

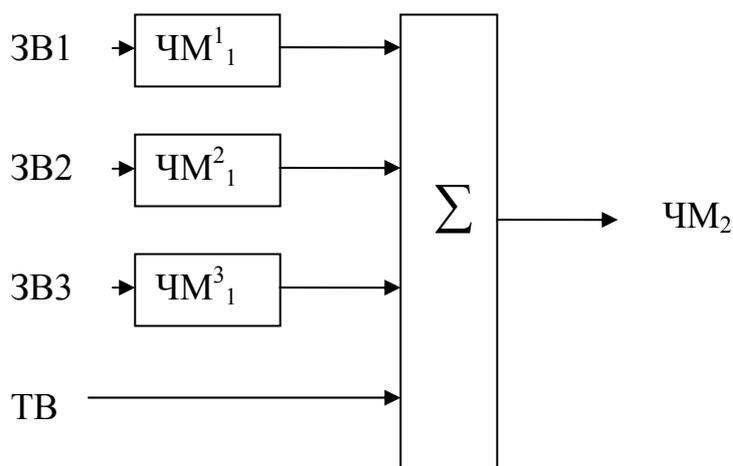
Геостационарная-  $h=36000$  км от поверхности земли. Спутник все время находится над одной точкой земной поверхности. Охват~

треть поверхности земли. Недостаток- плохое обслуживание полярных и близких к ним районов, а также большая стоимость вывода их на орбиту.

Высокая эллиптическая орбита- мин удаление от земли- 500 км, максимальное удаление- 40000 км. Период обращения =12 ч. Зона видимости- треть земной поверхности, но вся она расположена в северное полушарии. Сеансы связи по 8 часов и для обслуживания территории России нужны три спутника.

Первая в СССР система спутникового вещания «Орбита» создана в 1967 году и работает через ИСЗ «Молния».

Передача сигналов на поднесущих частотах в спутниковых АСП. В этом случае для передачи сигналов ЗВ применяется двухступенчатая ЧМ. Полосу до 6 МГц занимает ТВ-сигнал, сигналы ЗВ модулируют на частоте: поднесущую 6,5..8,2 МГц, а затем эти колебания суммируются с ТВ-сигналом и подаются на вход частотного модулятора ЧМ<sub>2</sub>. Число поднесущих, как правило 3. (Орбита-2, Москва)-7, 7.5, 8.2 МГц. Ширина канала ~ 35МГц.



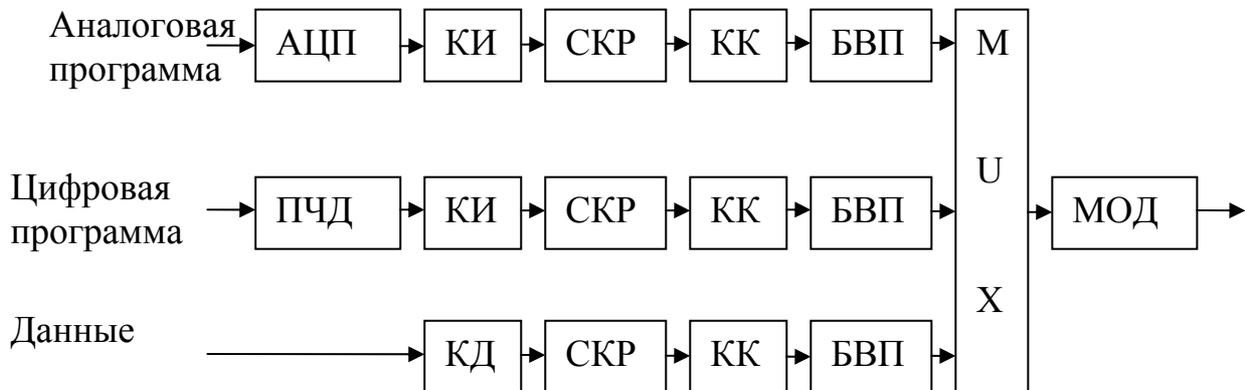
Возможно также использование всего ствола ИСЗ для передачи сигналов ЗВ с использованием ЧМ с ЧРК. Однако этот способ экономически неэффективен ,т.к. в канале шириной 35 МГц размещается всего 8..10 КЗВ с полосой ЗЧ по 10 кГц.

В связи с недостаточной эффективностью АСП. Сейчас наибольшее распространение получили цифровые СП.

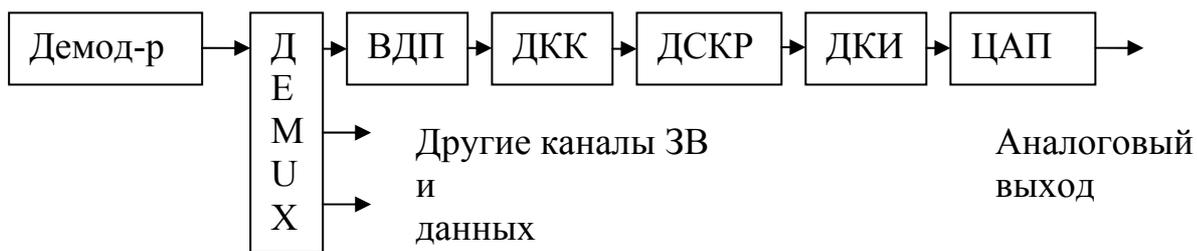
## КЗВ в ЦСП

Используется ВРК. Типовая функциональная схема системы цифрового ЗВ.

### А) Тракт передачи сигналов ЦЗВ.



### Б) Тракт приема сигналов ЦЗВ



ПЧД- преобразователь частоты дискретизации. Цифровые сигналы, поступающие в тракт передачи, могут иметь  $f$  дискретизации равную 44,1 кГц, 48 кГц (цифровая студийная аппаратура) или другую  $f$  дискретизации. Эти частоты преобразуются к номинальному значению, принятому в данной системе.

КИ- кодер источника

КД-кодер данных

(Сейчас используются КИ с устранением избыточности)

СКР- скремблер. Превращает цифровой сигнал в квазислучайный, что облегчает, например, задачи синхронизации. (Кроме того, обеспечивается соотношение 50/50 0 или 1, независимо от характеристик исходного сигнала, что позволяет сохранять определенную форму спектра модулированного сигнала).

КК- канальный кодер. Помехоустойчивое кодирование (и синхронизация)

БВП- блок временного перемежения. Предназначен для преобразования пакетов ошибок (декорреляции ошибок) в канале с замираниями в единичные ошибки.

Цифровые потоки, поступающие на мультиплексор, собираются в циклы определенной длительности (фреймы) с определенной последовательностью составных частей. Каждой звуковой программе, передаваемой по каналу ЗВ (КЗВ) или информации, передаваемой по каналу данных, соответствует свой временной интервал во фрейме.

В тракте приема выполняются операции, обратные тем, которые выполнялись в тракте передачи.

### **Кодирование звуковых сигналов.**

Как уже упоминалось, сейчас используют (КИ) кодеры источников с устранением избыточности. Различают аналитическую и психофизиологическую (психоакустическую) избыточность звуковых сигналов.

Статическая избыточность обусловлена наличием корреляционной связи между соседними отсчетами ЗС при его дискретизации. Используя статистические свойства сигнала: динамический диапазон, спектральную плотность мощности и полосу частот, распределение мгновенных значений, функцию корреляции сигнала и др. удастся снизить цифровую скорость потока, не ухудшая объективные параметры и не изменяя форму сигнала. Однако устранения статистической избыточности недостаточно для современных систем передачи с высокой эффективностью использования частотного ресурса, поэтому особую роль играет сокращение психофизиологической избыточности звуковых сигналов, основанное на учете особенностей слухового восприятия человека. Среди этих особенностей частотная и временная маскировка, инерционность, деление на критические полосы слуха, низкая чувствительность слуха к снижению точности передачи градаций амплитуды и фазы спектральных компонентов и ряд других. Психофизиологические методы обеспечивают лучшее сжатие, но при этом изменяется форма сигнала и ухудшается объективное качество сигналов ЗВ. Однако, это ухудшение качества, как правило, остается незаметным на слух.

На КИ обычно поступает ИКМ-сигнал с 14-16 разрядами и  $f$  дискретизации=32, 44.1, 48 кГц.



Ранее большее распространение имели методы кодирования формы ЗС (левая часть схемы) из-за своей простоты, т.е. малых требований к мощности процессора и объему памяти.

Сейчас в ЗВ очень широко используются методы соответствующие правой части схемы, наибольшее распространение получили стандарты MPEG-1(и 2) Audio Layer2 (MUSICAM) и Layer 3.

MUSICAM-Masking Pattern adapted Universal Sub band Integrated Coding And Multiplexing.

MUSICAM основан на субполосном кодировании с динамическим квантованием в частотных полосках слуха. На основе использования психоакустической модели человеческого слуха из сигнала удаляются компоненты, не воспринимаемые человеческим ухом. Используется гребенка фильтров.

Layer 3(значительно сложнее).

В дополнение к гребенке фильтров используется МДКП – модифицированное ДКП.

-при кодировании отсчетов используется метод Хаффмана.

-размер фрейма варьируемый.

-диапазон кодирования гибко варьируется =>

Степень сжатия больше.

Скорость передачи

Layer 2 8-384 кбит/с

Layer 3 8-320 кбит/с

Коэффициент сжатия 4-12 раз.

Закодированные звуковые сигналы формируют цифровой поток, соответствующий одному из стандартов

PDH – Plesiochronic Digital Hierarchy – почти синхронная

SDH – Synchronous Digital Hierarchy – синхронная

PDH – базовая скорость 64 кбит/с- достаточно для передачи одного телефонного канала с компрессированием (8000 Гц, 8 бит/отсчёт).

Иерархия скоростей

Междунар.	Европа	Скорость, Мбит/с	Каналов ТЧ(телефонных каналов)
DS-1	E1	2048	30
DS-2	E2	8,486	120
DS-3	E3	34,358	480
DS-4	E4	130,264	1920

Из каждых 32 байт- 2 отводится на служебные цели, поэтому 30 а не 32.

Недостатки- сложность операций мультимплексирования и демультимплексирования пользовательских данных. Причина этого (явления):

-отсутствие полной синхронности при объединении низкоскоростных каналов в высокоскоростные. Для извлечения низкоскоростных потоков необходимо полное демультимплексирование.

-низкие скорости

-отсутствие развитых процедур контроля и управления сетью

Эти недостатки были устранены в технологии SDH.

Обозначение уровней скорости STM-Synchronous Transport Module:

STM-1	STM-3	STM-4	STM-6	STM-8	STM-12	STM-16
155,520	466,560	622,080	933,120	1,244	1,566	2,488
Мбит/с	Мбит/с	Мбит/с	Мбит/с	Гбит/с	Мбит/с	Мбит/с

PDH и SDH используются в радиорелейных и кабельных системах передачи (СП). Спутниковые приемники и передатчики, как правило, имеют выходы и входы, которые можно подключить к аппаратуре PDH и SDH.

## **Тракт вторичного распределения программ звукового вещания.**

Это часть электрического канала ЗВ, тракт начинается на выходе СЛ от КРА, АЦ или МКЗВ, по которой сигналы ЗВ поступают на вход передатчиков, центральной станции проводного вещания ЦСПВ и заканчивается входом антенны передатчика или её эквивалентом, или абонентской розеткой.

Имеются два типовых тракта вторичного распределения: тракт передатчика и тракт проводного вещания.

Для тракта проводного вещания определены основные варианты: два для города и два для сельской местности.

Высокочастотные каналы ТПВ (тракта проводного вещания ВЧК ТПВ) – часть трактов вторичного распределения ТПВ, которая начинается на выходе СЛ и заканчивается абонентской линией.

ЦСПВ – станция, предназначенная для распределения на станции программ ЗВ, а также для осуществления контроля за работой сети ПВ (проводного вещания).

СПВ – станция, предназначенная для приема, преобразования, усиления сигналов ЗВ.

МФ (магистральная фидерная линия) – линия, предназначенная для питания распределительных фидерных линий.

РФ (распределительная фидерная линия) – линия, предназначенная для питания АЛ или узловых сетей.

АЛ (абонентская линия) – линия, предназначенная для питания узловой сети.

ТП (трансформаторная подстанция) – комплекс оборудования, предназначенный для понижения уровня (амплитуды) сигналов ЗВ, получаемых по МФ и передачи их в РФ.

АТ (абонентский трансформатор) – понижающий трансформатор для подключения АЛ или домовой сети к распределительному фидеру (РФ).

РТУ – радиотрансляционный узел или узел проводного вещания- комплекс стационарного и линейного оборудования, осуществляющий прием, усиление и передачу программ ЗВ абонентам.

КВ (канал вещания) – звено тракта проводного вещания (ТПВ).

УПП – устройство подключения передатчика в тракте проводного вещания (ТПВ).

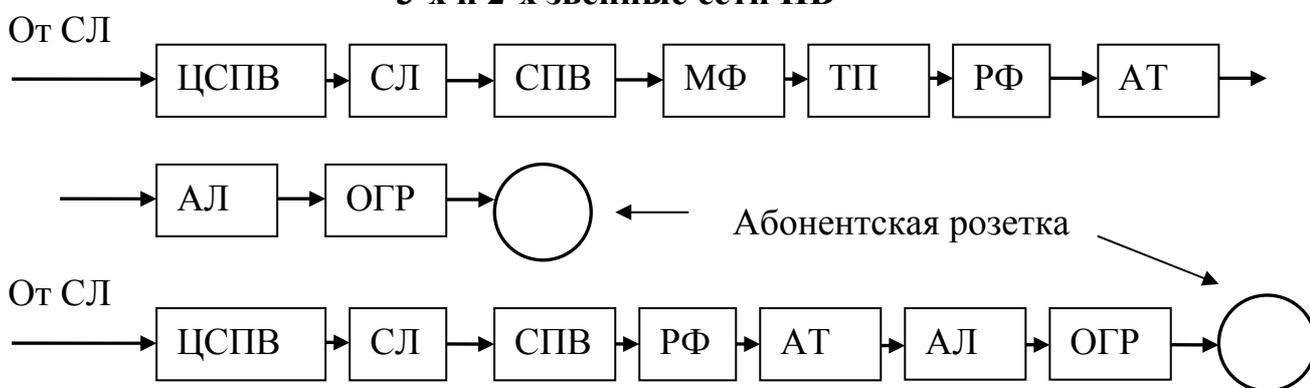
ОГР – ограничительная розетка, предназначенная для защиты АЛ от замыканий в абонентской розетке.

## Тракты вторичного распределения

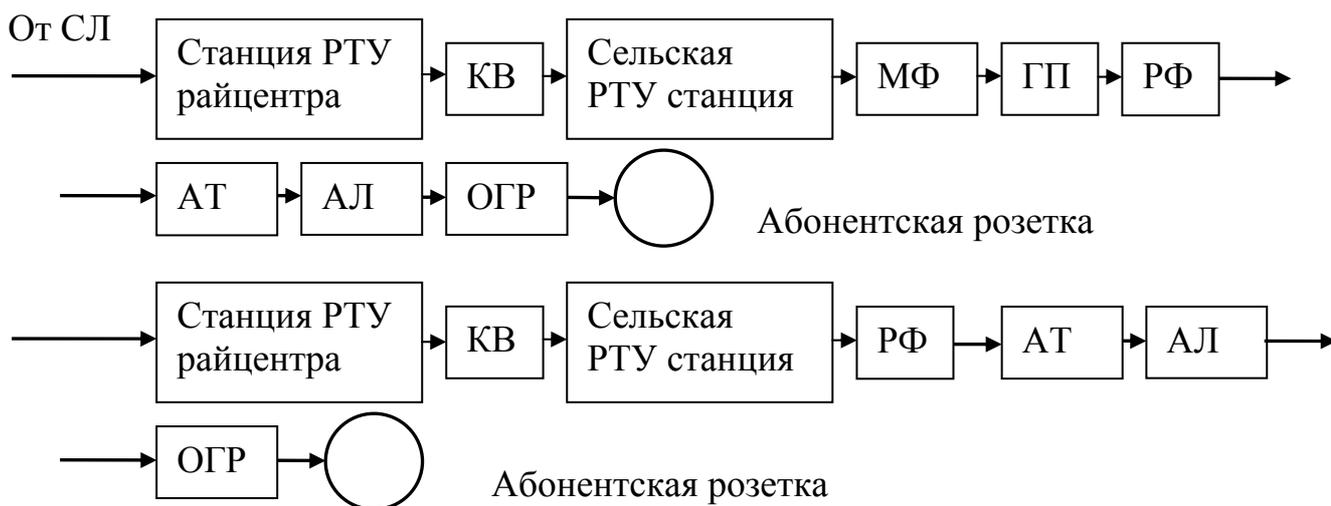
### Тракт передатчика



### Тракт проводного вещания для города 3-х и 2-х звенные сети ПВ



### Тракт проводного вещания для сельской местности 3-х и 2-х звенные сети ПВ



### Тракт проводного вещания высокой частоты (ТПВ ВЧК)



### Проводное вещание (ПВ)

ПВ – это система состоящая из комплекса аппаратуры и сооружений, с помощью которых сигналы ЗВ распределяются по проводным сетям и поступают к слушателям.

Оборудование ПВ делится на станционное, линейное и абонентское.

Станционное оборудование – обеспечивает усиление сигнала источника программы до требуемого уровня и преобразование сигнала в удобную для передачи форму. Основные элементы станционного оборудования узлов однопрограммного вещания – это УЗЧ (усилитель звуковой частоты), а для узлов трехпрограммного вещания ещё и передатчики. Кроме того, к станционному оборудованию относится аппаратура регулирования передаваемых сигналов, контроля, управления, коммутации и электропитания.

Линейное оборудование состоит из линий различного назначения (магистральных, распределительных, абонентских) и понижающих трансформаторов.

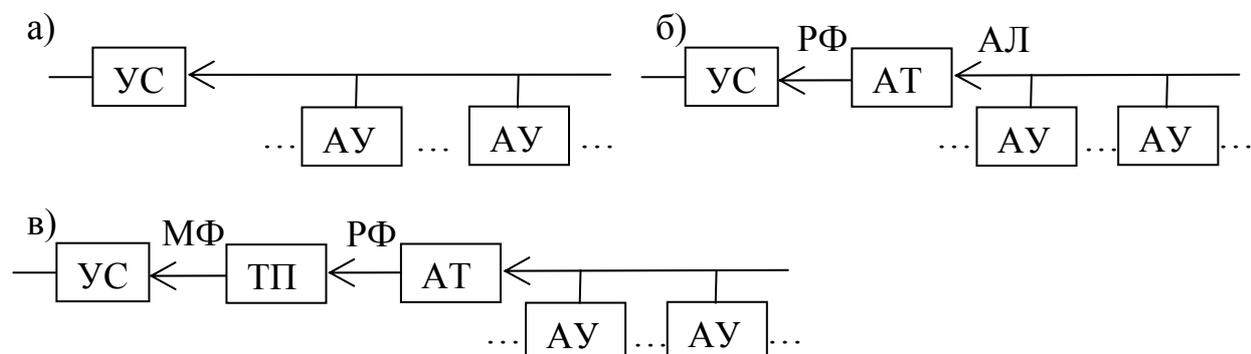
Абонентское оборудование – абонентские устройства (в однопрограммном вещании – громкоговорители, в трехпрограммном – приемные устройства), абонентская проводка и ограничительные резисторы.

**Линейное и абонентское оборудование образует распределительную сеть (или сеть) проводного вещания.**

Распределительные сети могут быть одно-, двух- и трёхзвенными (ПВ 2-х и 3-х звенных сетей уже зарисовали).

Замечание: в схемах из ГОСТа не показаны усилительные станции (УС) и опорные усилительные станции (ОУС), но эти станции существуют.

Структурные схемы сети ПВ.



а) одно- б) двух- в) трёхзвенная сеть.

- Однозвенные сети применяются в небольших населённых пунктах (несколько десятков АУ), в отдельных зданиях и предприятиях. Сигналы ЗВ поступают с выхода УС по АЛ на вход АУ, номинальное напряжение в АЛ 30В (в некоторых районах Москвы 15В).

- Для расширения территории обслуживания сети применяют двухзвенные сети. Они включают линии более высокого напряжения (120 или 240 В) – (РФ), с помощью которых сигналы вещания можно передавать на большие расстояния. К каждому РФ АЛ подключают через понижающие АТ. (РФ – 2е звено; АЛ – 1е звено).

- При большой нагрузке (>10 тыс. АУ) создают трёхзвенные сети. Территория, обслуживаемая такой сетью, разбивается на зоны, в каждой из которых располагается двухзвенная сеть. Питание этих сетей осуществляется по высоковольтным (480, 690, 960 В) МФ, для того чтобы уменьшить потери (в сети). (МФ – третье звено).

УПВ (определение см. ранее, где РТУ) делятся на централизованные и децентрализованные.

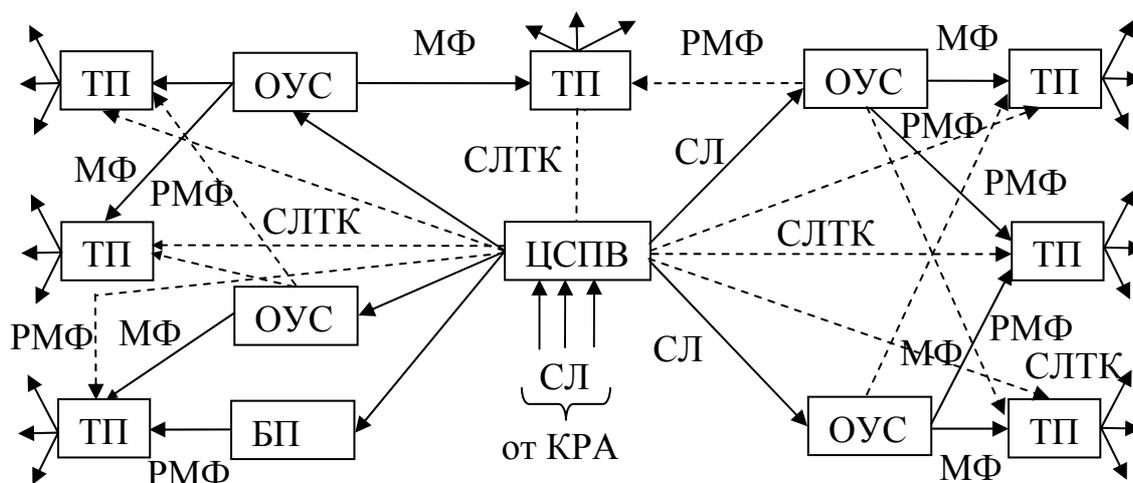
Узлы, в которых сигнал в распределительную сеть подаётся от усилительных устройств и передатчиков, сосредоточенных в одном станционном сооружении, построены по централизованной схеме. В них упрощается задача энергоснабжения и обслуживания оборудования. Эксплуатация одной крупной станции экономически более выгодна. Недостатки схемы – сложность распределительной сети ПВ и меньшая эксплуатационная надёжность.

При децентрализованном построении УПВ мощные усилительные устройства и передатчики рассредоточены в различных районах

обслуживаемой территории на нескольких ОУС. Такая организация сети повышает её надёжность, т.к. выход из строя одной станции приводит к нарушению работы лишь части системы ПВ. Построение распределительной сети в случае децентрализации проще. Недостатки – сложная организация энергоснабжения и большая стоимость станционных сооружений.

Структурная схема децентрализованного городского УПВ с трёхзвенной сетью.

ЦСПВ соединены с ОУС с помощью СЛ.



СЛТК – соединительные линии телеуправления и контроля. В качестве соединительных линий (в т.ч.) используют телефонные пары ГТСети. Каждая ТП получает питание от двух ОУС (резервирование). Если ТП находится на большом расстоянии от ОУС, то резервную усилительную станцию – блок – подстанцию БП.

РМФ – резервный магистральный фидер – при повреждении МФ происходит автоматическое переключение на него.

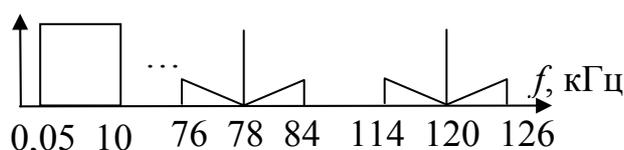
В большинстве городов систему ПВ строят по радиальному принципу, т.е. каждая ОУС с помощью СЛ непосредственно соединяется с ЦСПВ. В крупных городах (Москва, СПб) число ОУС велико, расстояние между ОУС и ЦСПВ может превышать допустимую длину СЛ, поэтому используют промежуточные усилители. В этом случае УПВ выполняют по радиально-узловому принципу, что обеспечивает подачу программ вещания как непосредственно СЦСПВ на ОУС, так и через соседние усилительные станции.

Средняя длина МФ и РФ в больших городах = 1,5 км. К одной ТП подключают 6...10 РФ. Средняя нагрузка на РФ – 1000 АУ. Требуемая мощность ТП при средней нагрузке  $10^4$  АУ примерно 5 кВт. От одной УС обычно напряжение сигнала подаётся к нескольким ТП (от 2 до 7).

Сеть ПВ в городах включает столбовые и стоечные воздушные линии, изготовленные в основном из стальных или биметаллических проводов. В крупных городах провода МФ и РФ подвешиваются к стойкам, установленным на крышах зданий, а роль АЛ играет домовая проводка. В сельской местности наряду с воздушными линиями применяют и кабельные.

Система ПВ, разработанная в 20е г.г. 20в., изначально была однопрограммной. Первая программа (т.е. первоначально единственная) передаётся сигналами звуковой частоты с высоким уровнем напряжения в полосе 50...10000 Гц или 100...6000 Гц.

Для передачи 2й и 3й программы используется ЧРК.



Спектр сигналов системы трёхпрограммного вещания.

Несущие частоты 2й и 3й программ (78 и 120 кГц) выбраны из следующих соображений: разнос частот несущих должен быть как можно большим. При этом упрощается высокочастотная часть приёмника, который можно выполнить по схеме прямого усиления с простыми и дешёвыми фильтрами. С понижением несущей частоты возрастает уровень помех со стороны низкочастотного канала, а с её возрастанием увеличивается затухание сигнала в распределительной сети. Используется АМ, минимальное напряжение несущей 0,25 В (на АУ).

Как было показано ранее, станционная часть ТПВ ВЧК содержит, кроме УЗЧ для 1й программы, ещё передатчики для 2й и 3й программ (в МЫ напряжение 1й программы 960 В, 2й и 3й 120 В).

## Радиовещание.

### Построение передающей сети радиовещания.

Передающая сеть радиовещания – это комплекс технических средств (передатчики, антенные устройства, вспомогательное оборудование), осуществляющие излучение сигналов звукового вещания в виде радиоволн.

Зона обслуживания передатчика – это часть земной поверхности, ограниченная замкнутой кривой, в каждой точке которой с вероятностью не ниже заданной полезная напряжённость поля  $E_{\text{пол}}$  обеспечивает удовлетворительный приём при наличии помех. Если помехи только природного или промышленного происхождения, то должно быть  $E_{\text{пол}} \geq E_{\text{мин}}$ . Это минимальное значение напряжённости поля принимается в качестве отправного при планировании передающей сети и определяется требуемым соотношением напряжения сигнала звуковой частоты  $U_c$  к среднеквадратическому напряжению помехи  $U_{\text{п}}$ , измеренному на выходе усилителя звуковой частоты радиоприёмника. Отношение  $U_c/U_{\text{п}}$  называют защитным отношением на звуковой частоте. Она должна быть 20...40 дБ.

Конфигурация и площадь зоны обслуживания зависят от защитного отношения по высокой частоте – это отношение сигнал/помеха по высокой частоте, обеспечивающее на выходе приёмника требуемое защитное отношение по звуковой частоте при наличии помех со стороны мешающих станций. Значения защитных отношений по звуковой и по высокой частоте задаются при определённых параметрах системы вещания, к которым относятся тип и глубина модуляции, ширина полосы канала, разнос несущих частот передатчиков, избирательность и полоса пропускания приёмника и др.

$A = 20 \lg \left( \frac{E_{\text{пол}}}{E_{\text{п}}} \right)$  [дБ] - защитное отношение по высокой частоте.

$E_{\text{п}}$  – напряжённость поля помехи на границе зоны обслуживания.

Отношение  $\frac{E_{\text{пол}}}{E_{\text{п}}}$  показывает, во сколько раз напряжённость поля  $E_{\text{пол}}$

передатчика на границе зоны обслуживания должна превышать напряжённость поля помех  $E_{\text{п}}$  для обеспечения качественного приёма.

При отсутствии помех от других передатчиков и небольших изменениях рельефа местности вокруг передатчика зона обслуживания будет иметь форму круга.

По уровню взаимных помех, возникающих в передающей сети, различают следующие варианты работы радиовещательных станций:

1. В совмещённом частотном канале (несущие частоты одинаковы, программы передаваемые станциями – разные).
2. В синхронной сети (синхронное радиовещание) – несущие одинаковые и программы одинаковые.
3. В разных частотных каналах.

В первом случае требуемые значения  $A$  значительно больше чем во втором (Если станции занимают разные радиоканалы, а разность несущих превышает удвоенное значение ширины полосы частот, занимаемой спектром радиосигнала, то станции не мешают друг другу).

Задача планирования передающей вещательной сети заключается в таком размещении станций и распределении между ними имеющихся частотных каналов, чтобы на данной территории обеспечить качественным приёмом наибольшее число слушателей.

При построении передающей сети нужно стремиться к минимальным затратам. Если требуется разместить станции равномерно на обслуживаемой территории, то их располагают в узлах квадратной или треугольной сетки.

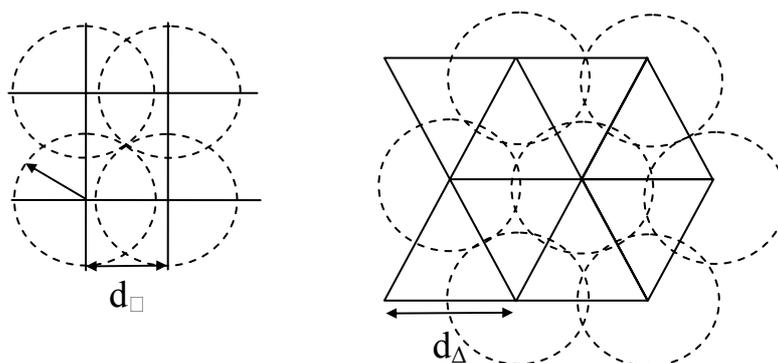


Рис. Схема размещения станций.

Экономически более эффективна треугольная сетка, т.к. при её использовании площади взаимного пересечения зон обслуживания меньше и потребуется на 30% меньше количества передатчиков.

На практике не всегда придерживаются идеализированных построений и станции размещают в районах с высокой плотностью населения, вблизи крупных городов.

Требуемое число частотных каналов:

1. Если станции работают в разных частотных каналах, то  $n = \frac{S}{S_0}$ ,  
 где  $S$  – площадь территории;  $S_0$  – средняя площадь обслуживания одной станции.

2. Если станции работают в совмещённом частотном канале, и размещены в узлах треугольной сетки, то  $n = \left(\frac{1}{3}\right)\left(\frac{D}{r_0}\right)^2$ ,

$D$  – расстояние между станциями (от него зависит уровень помех);

$r_0$  – радиус зоны обслуживания станции (от него зависит напряжённость поля).

### Радиовещательные диапазоны.

В соответствии с Регламентом радиосвязи в отношении распределения радиочастот мир разделён на 3 района: Район 1 – Европа (включая республики бывшего СССР и Монголию); Район 2 – Северная и Южная Америка и Гренландия; Район 3 – Азия и Австралия.

Таблица. Радиовещательные диапазоны.

Номер диапазона	Наименование волн	Диапазон частот, МГц	Длина волны, м
5	Длинные волны (ДВ) Километровые волны (КМВ) Низкие частоты (НЧ)	0,15...0,285	2000...735,3
6	Средние волны (СВ) Гектометровые волны (ГМВ) Средние частоты (СЧ)	0,525...1,605	575...187
7	Короткие волны (КВ) Декаметровые волны (ДКМВ) Высокие частоты (ВЧ)	3,20...3,40 Ещё 11 диап. 26,67...26,1	90...11
8	Ультракороткие волны (УКВ) Метровые волны (МВ) Очень высокие частоты (ОВЧ)	66...74 100...108	4,55..4,05 3,0...2,788

Ещё выше ультравысокие частоты и сверхвысокие частоты, системы непосредственного спутникового радиовещания.

В диапазонах ДВ, СВ и КВ передатчики работают с амплитудной модуляцией (АМ). Ширина полосы частот  $= 2F_{\text{в}}$ , где  $F_{\text{в}}$  – верхняя частота спектра модулирующего сигнала.

В диапазонах ДВ и СВ разнос между несущими 9 кГц, сами несущие также кратны 9 кГц. Ширина полосы канала от 9 ( $F_{\text{в}}=4,5$  кГц) до 20 ( $F_{\text{в}}=10$  кГц). (Для снижения взаимных помех в этом случае станции, работающие в смежных радиоканалах, размещают на больших расстояниях друг от друга).

В диапазоне ДВ – 15 каналов; в диапазоне СВ – 120 каналов. В КВ диапазоне ширина полосы частот радиоканала = 9 кГц, разнос несущих 10 кГц, несущие кратны 5 кГц. При разноразмерных зонах обслуживания в пространстве допускается разнос несущих 5 кГц.

В диапазоне УКВ: 66...74 несущие частоты и разнос между ними кратны 30 кГц; 100...108 несущие кратны 100 кГц.

### **Особенности использования для радиовещания различных диапазонов волн.**

Рассмотрим особенности распространения радиоволн различных видов с учетом специфики организации радиовещания. Днем основная часть энергии, излученной антенной передатчика километровых волн, приходит в точку приема в виде земной волны. Напряженность поля этой волны не зависит от состояния ионосферы. Условия приема в этом диапазоне волн отличаются стабильностью. Они сравнительно мало зависят от времени суток и сезона, хотя можно отметить, что дальность распространения ночью больше, чем днем, и зимой больше, чем летом. На приеме сильно сказываются атмосферные и промышленные помехи. В нашей стране диапазон длинных волн используют для того, чтобы обслужить программами центрального, республиканского и областного вещания большие территории, в том числе сравнительно мало заселенные районы Севера, Сибири, Дальнего Востока. Земная волна сильно поглощается почвой. Поэтому для вещания приходится применять передатчики мощностью до 500...1000 кВт., хотя экономически это невыгодно.

Выделенных для нашей страны каналов в диапазоне длинных волн не хватает для передачи всех программ государственного вещания. Для этой цели, а также для республиканского и областного

радиовещания используют и диапазон гектометровых волн. Условия распространения в данном диапазоне похожи на условия распространения в диапазоне километровых волн. На более высоких частотах поглощение в почве увеличивается. В этом диапазоне начинает сказываться влияние ионосферной (пространственной) волны. Днем при высокой концентрации электронов в слоях ионосферы пространственная волна сильно поглощается и возвращается на Землю столь ослабленной, что практически не сказывается на приеме. Ночью дальность распространения заметно увеличивается. В результате возникают помехи радиоприему от удаленных станций, работающих в совмещенных и смежных частотных каналах, и область уверенного приема уменьшается. В зависимости от назначения применяются передатчики мощностью 5... 1000 кВт.

На декаметровых волнах область приема земной волны сокращается до нескольких десятков километров. Основную роль играет ионосферное распространение, при котором поглощение энергии сравнительно мало. Это позволяет вести звуковое вещание на значительные расстояния при сравнительно небольшой мощности передатчиков. Снижению мощности способствует применение направленных антенн. В силу указанных свойств этот диапазон широко используют для вещания на другие страны.

Для повышения надежности приема применяют многоволновые системы: программу передают одновременно в различных поддиапазонах волн. Кроме того, рабочие длины волн изменяют в течение времени суток и года в соответствии с изменением условий распространения радиоволн. На станциях, работающих в диапазоне декаметровых волн, устанавливаются передатчики с номинальной мощностью 50, 100, 150, 250, 500 кВт.

Диапазон метровых волн используется для звукового вещания в крупных городах, областного радиовещания на территории с высокой плотностью населения, а также для организации каналов телевизионного вещания. Станции МВ ЧМ оснащаются передатчиками мощностью 2... 15 кВт. Атмосферные помехи в этом диапазоне не сказываются, а для борьбы с местными помехами (особенно импульсными от системы зажигания автомобилей и мотоциклов) применяют частотную модуляцию.

## **Способы организации стереофонического радиовещания.**

Стереофоническое звуковоспроизведение в домашних условиях осуществляется с помощью лазерных проигрывателей, электрофонов и магнитофонов. Однако одним из наиболее перспективных путей внедрения стереофонии является передачи стереофонических сигналов по радиоканалам. В период внедрения было предложено более 30 систем стереофонической радиопередачи. Из них основными были системы передачи, осуществляемые:

1. на двух несущих частотах с амплитудной модуляцией (АМ);
2. на боковых полосах с отдельной АМ одной несущей;
3. с квадратурной модуляцией, т.е. с отдельной модуляцией стереосигналами одной несущей частоты, колебания которой сдвинуты на  $90^\circ$ ;
4. посредством АМ-ЧМ одной несущей;
5. посредством импульсной модуляции, при которой импульсы модулированы по амплитуде поочередно сигналами А и В. При временной селекции отдельно детектируются последовательности четных и нечетных импульсов;
6. по принципу полярной модуляции (Россия);
7. с помощью пилот-сигнала (США).

Выбор системы стереофонического радиовещания определяется теми техническими требованиями, которым она должна удовлетворять. В частности, необходимо обеспечить прямую и обратную совместимости и минимальное по сравнению с моноприемом уменьшение зоны уверенного стереоприема.

Прямая совместимость заключается в предоставлении радиослушателю возможности принимать стереофоническую передачу на обычный монофонический радиоприемник (естественно, в моноварианте), а обратная - в приеме на стереофонический приемник обычной передачи без потерь качества, но, конечно, без стереофонического эффекта.

Кроме того, система должна допускать возможность использования для стереофонического вещания уже установленных МВ ЧМ передатчиков путем добавления к ним необходимой модулирующей аппаратуры. Это требование обусловлено экономическими соображениями, так как в настоящее время в стране используется большое число МВ ЧМ передатчиков.

Анализ работы описанных выше способов передачи стереосигналов показывает, что способ 1 принципиально неприменим, поскольку не отвечает требованиям совместимости и, кроме того, занимает два радиоканала. Способы 2 и 3, пригодные, в принципе для диапазона средних волн, не нашли практического применения из-за сложности приемных устройств и плохой прямой совместимости: моноприем искажен гармониками и комбинационными искажениями. По этим же причинам не нашёл применения способ 4. Способ 5, отвечающий основным требованиям к системе стереовещания, отличается широким спектром частот излучаемых колебаний, что является существенным недостатком. Наилучшим образом отвечают техникоэкономическим требованиям способы 17 и 7.

### **Стереофоническое вещание с полярной модуляцией.**

Стереофоническое вещание у нас в стране ведется по системе с так называемой полярной модуляцией. Идея полярной модуляции понятна из (рис.1.а), на котором положительные полупериоды (полюсы) колебаний модулированы по амплитуде одним сигналом, а отрицательные полупериоды – другим. Поэтому верхняя и нижняя огибающие полярно-модулированного колебания (ПМК) несут два вида информации – от левого и от правого микрофонов.

Спектральный анализ ПМК показывает, что в его спектре содержатся звуковые частоты (рис.1.б), вследствие чего такой сигнал не может непосредственно излучаться антенной передатчика. Поэтому полярно-модулированный сигнал получают, модулируя поднесущую 31250 Гц.

Отметим, что монофонический приемник может воспроизвести только звуковую часть спектра ПМК, поэтому, если в области звуковых частот передавать только сигнал А (или В), звучание будет неполноценным, поскольку содержит информацию только о левой (или правой) части сцены. Чтобы удовлетворить требованию совместимости, в полосе звуковых частот передается сумма сигналов А+В, а в диапазоне ультразвуковых частот – информация о разностном сигнале А–В (рис. 2. а).

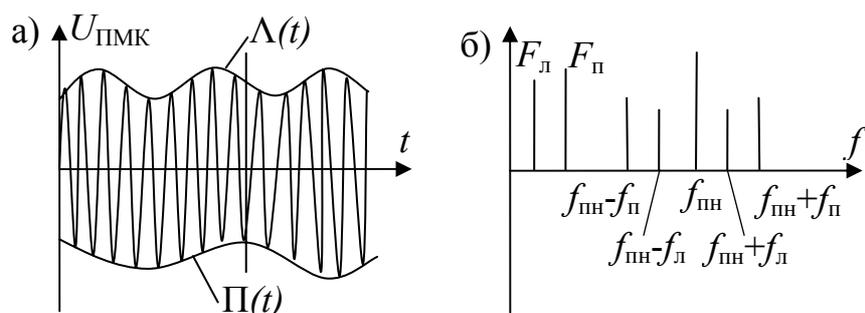


Рис.1. Принцип полярной модуляции (а) и спектр полярно модулированного сигнала (б) при модуляции двумя и частотами.

Прежде чем промодулировать несущую частоту передатчика, необходимо подвергнуть ПМК дополнительной обработке. Необходимость в этом обусловлена тем, что по действующим стандартам максимальная девиация частоты передатчика ограничена значением 50 кГц как в моно-, так и в стереорежиме. Поэтому при модуляции несущей частоты полярно-модулированным колебанием значительная часть девиации несущей (более 50%) приходится на передачу поднесущей. Это приведет к тому, что прием стереофонической передачи на обычный приемник будет производиться с уменьшением громкости (на 7 дБ) по сравнению с громкостью обычной монофонической передачи.

Для устранения этого недостатка в полярном модуляторе производится частичное подавление поднесущей частоты, то есть уменьшение её амплитуды в 5 раз (14 дБ). В этом случае обеспечивается почти полная совместимость; уменьшение громкости приема стереопередачи по сравнению с монофонической программой составляет 2 дБ, что почти не заметно для человеческого слуха. Спектр ПМК с частично подавленной поднесущей показан на рис. Для повышения помехозащищённости сигналов А и В в области верхних частот, где уровень спектральных составляющих существенно меньше, чем на средних частотах, введена РС-цепь предискажений сигналов А и В стереопары, её постоянная времени стандартизована и составляет 50 мкс. Такой сигнал называется комплексным стереосигналом (КСС).

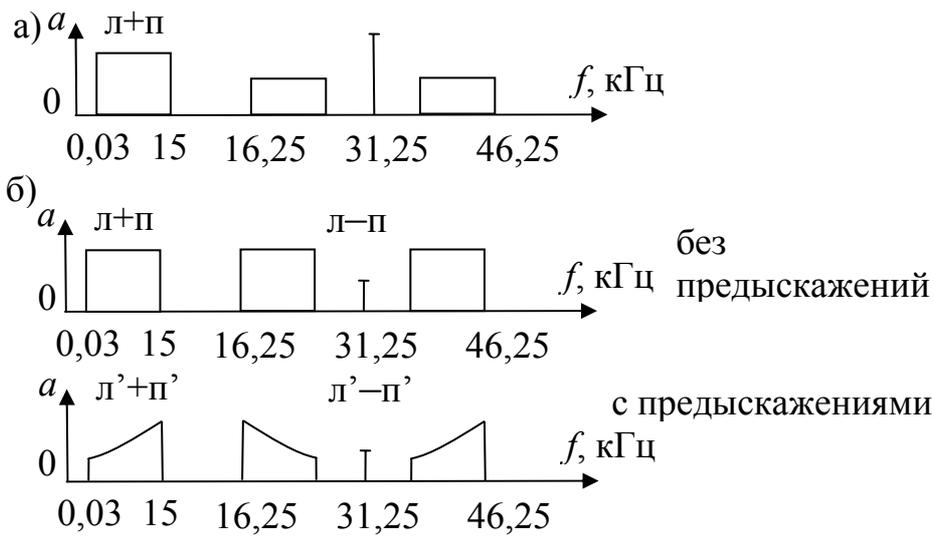


Рис. 2. Спектр полярно-модулированного сигнала (а) и комплексного стереосигнала (б).

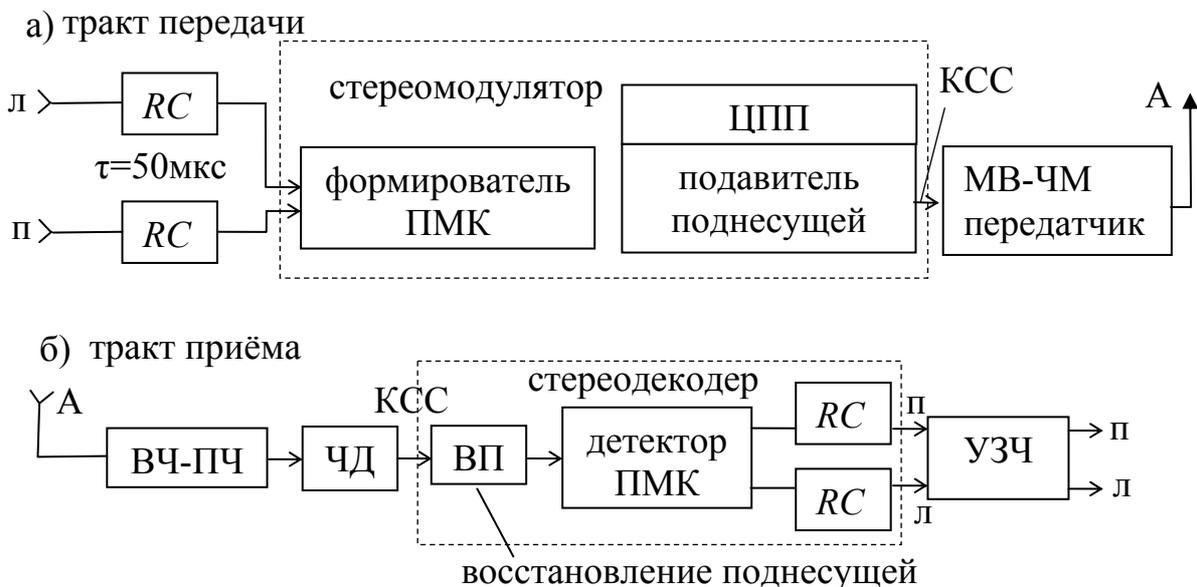


Рис. 3. Структурная схема а) передающего тракта; б) приёмного тракта отечественной системы стереофонического радиовещания.

### Американская и шведская системы стереофонического радиовещания.

В американской системе (она называется системой с пилот-тоном) также формируется комплексный стереосигнал. Его спектр (рис.4) тоже содержит две части: низкочастотную, представляющую собой сумму  $A+B$  сигналов стереопары, и надтональную – АМ колебание с полностью подавленной поднесущей. Частота поднесущей в американской системе выбрана равной 38 кГц. Чтобы

иметь возможность точно восстанавливать частоту поднесущей на приемной стороне системы, в спектре КСС дополнительно введен пилот сигнал частотой 19 кГц, передаваемый уровнем в 10 раз ниже номинального.

Уменьшение громкости при приеме на монофонический приемник в системе с пилот-тоном составляет всего 1 дБ. Однако в системе с пилот-тоном устройства разделения стереофонических сигналов более сложные из-за наличия системы с синхронизации поднесущей частоты.

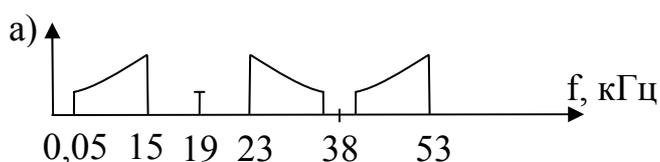


Рис.4. Спектр комплексного стереосигнала.

## ЦИФРОВОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ (ЦРВ).

Его введение связано со следующим:

- 1) Повышение эффективности использования радиочастотного спектра;
- 2) Повышение качества услуг;
- 3) Увеличение количества услуг;

Сложность проектирования и реализация систем ЦРВ связана с:

1) Необходимостью обеспечить надежный высококачественный прием не только стационарным, но и мобильными (переносными и установленными на подвижных объектах) приемниками в условиях интенсивной городской застройки и горной местности, т.е. в многолучевом канале с МСИ (межсимвольными искажениями) и частотно селективными замираниями.

2) Стремление обеспечить высокую удельную скорость передачи информации, т.е. высокую эффективность использования отведенной полосы частот.

3) Ограниченными энергетическими ресурсами особенно при использовании спутниковых ретрансляторов.

4) Жесткими ограничениями на сложность и стоимость бытового приемника.

## Возможные варианты технической реализации систем ЦРВ.

Таблица.

Узловые проблемы реализации систем ЦРВ	Возможные варианты решения
1) Метод представления сигнала ЗВ (звукового вещания) в цифровой форме	<p>А) Кодирование формы сигнала по времени</p> <p>Б) Кодирование сигнала в частотной области</p>
2) Способ организации общего цифрового потока	<p>А) Временное уплотнение (ВРК), последовательная передача</p> <p>Б) Частотное уплотнение (ЧРК), параллельная передача с вариантами, отличающимися числом поднесущих</p>
3) Метод защиты радиоканала от ошибок	<p>А) Помехоустойчивое кодирование</p> <p>Б) Маскирование (интерполяция)</p> <p>В) Перемежение по времени и (или) по частоте</p>
4) Способ борьбы с многолучевым распространением сигнала в радиоканале	<p>А) Расширение базы сигнала, т.е. переход к составным широкополосным сигналам</p> <p>Б) Направленные антенны</p> <p>В) Адаптивные алгоритмы подавления эха</p> <p>Г) Увеличение длительности посылок и введение защитных интервалов</p>
5) Тип модуляции	<p>А) Многопозиционная квадратурная АМ (КАМ)</p> <p>Б) ОФМ – 2, ОФМ – 4</p> <p>В) ЧММС</p> <p>Г) Модуляция с большим количеством поднесущих + см.п.2б</p>

## **Возможные варианты организации цифровых систем эфирного радиовещания.**

1) Системы наземного ЦРВ;

А) Ниже 30 МГц;

Б) В диапазонах ОВЧ и УВЧ;

2) Системы непосредственного спутникового ЦРВ с приемом сигнала на бытовой приемник;

3) Комбинированные (гибридные) системы ЦРВ включающие первые два варианта;

Типовая структурная схема ЦРВ была преведена ранее, т.к. она совпадает с типовой функциональной схемой ЦЗВ.

## **Модуляция COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex).**

**(Частотное уплотнение с кодированными ортогональными несущими).**

Применяется во всех современных системах теле – и радиовещания.

Основная идея:

Вместо передачи на одной несущей суммарного цифрового сигнала с короткими импульсами применяется распараллеливание цифрового потока для передачи на нескольких несущих с относительно большой длительностью импульсов. Это позволяет противостоять МСИ, возникающим в результате многолучевого распространения.

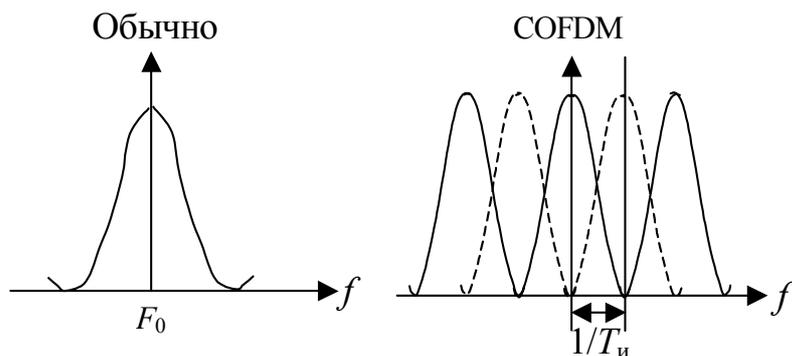


Рисунок.

Для борьбы с МСИ вводятся защитные интервалы между символами для того, чтобы длительность защитных интервалов была мала по сравнению с длительностью полезного импульса, и используют OFDM.

Количество информации передаваемой на одной поднесущей в OFDM невелико, поэтому длительность полезного импульса относительно велика, зато большое количество поднесущих.

В реальных системах ЦРВ и ЦТВ во время защитных интервалов передается копия или циклическое повторение части полезного интервала, это делается для обеспечения ортогональности поднесущих.

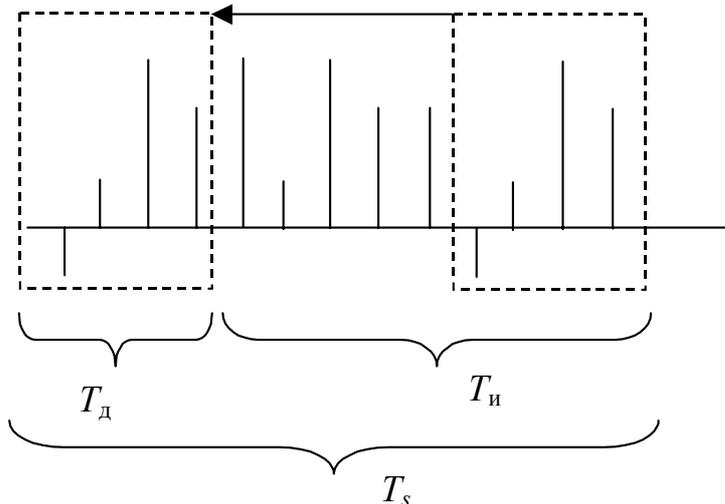


Рисунок.

При многолучевом распространении, если рассматривать частотную область наблюдается частотно – селективные замирания, сигналы одних несущих усиливаются, других ослабляются. Т.о.

получается что сигналы разнесенные по частоте и по времени (т.к. используют и временное перемежение) искажаются по разному.

В тоже время элементы информации передаваемые в различные моменты времени на несущих разнесенных по частоте связаны между собой с помощью кодирования (модулированного) исходного сигнала. Это как правило позволяет восстановить в приемнике потерянную информацию благодаря ее корреляционной связи (обусловленной кодированием с информацией принятой правильно).

Системы модуляции с перемежением предполагают перераспределение элементов потока данных по времени и по частоте в результате чего последовательные отсчеты передаваемого сигнала подвергаются независимым искажениям, эффективность алгоритма Витерби используется в современных системах ЦРВ, максимально в канале с независимыми ошибками, а перемежение как раз обеспечивает декорреляцию ошибок.

Для систем COFDM многолучевое распространение является формой пространственного разнесения, и обеспечивает увеличение среднего отношения сигнал/шум.

При стационарном приеме разнос в частотной области является единственным средством обеспечения успешного приема, т.к. временное разнесение помогает мало.

Подавление эха возможно с помощью адаптивных корреляторов, но они эффективны только при стационарном приеме, когда величина запаздывания не меняется или меняется медленно и эхо сигналов относительно немного.

При мобильном приеме COFDM практически единственная возможность устойчивого приема.

Недостатки COFDM:

1) Большой пик фактор, из – за чего система критична к нелинейным искажениям, что ограничивает возможность использования нелинейных режимов усиления в мощных усилителях радиопередатчика.

2) Из – за селективности по частоте замираний в многолучевых радиоканалах, коэффициенты передачи по отдельным частотам каналов могут существенно различаться, что делает необходимым использования избыточного кодирования.

3) Относительная сложность реализации.

**Система T – DAB.  
(Terrestrial Digital Audio Broadcasting).  
(Наземное цифровое радиовещание).**

Для того чтобы использовать T – DAB в различных конфигурациях передающей сети в широком диапазоне частот, предусмотрены 4 альтернативных режима передачи.

Таблица.

Параметр	Режим передачи			
	1	2	3	4
1) Номинальный частотный диапазон (МГц)	≤375	≤1500	≤3000	≤750
2) Число несущих	1536	384	192	768
3) Максимальное разнесение передатчика при работе в одночастотной сети (км)	96	24	12	48
4) Длительность защитного интервала (мкс)	≈246	≈62	≈31	≈123
5) Длительность фрейма передачи (мс)	96	24	24	48

Полезная скорость 1168 кбит/с;

Полезная скорость 2,4 Мбит/с;

Ширина спектра 1,54 МГц;

Описание режимов:

1) Наиболее подходит для организации наземного вещания и построения одночастотных сетей, т.к. позволяет обойтись меньшим количеством передатчиков при заданной площади обслуживания.

2) Для сетей местного радиовещания с использованием одного наземного передатчика, а также для гибридных наземно – спутниковых систем.

3) Для спутникового и дополняющего его наземного вещания, для использования в современных широкополосных сетях кабельного телевидения в диапазоне 47 – 862 МГц.

4) Оптимизирует параметры DAB сигнала для использования в одночастотных сетях в диапазоне УВЧ.

### Система DRM (Digital Radio Mondiale).

Предназначена для частот ниже 30 МГц.

Используются следующие полосы частот:

- 1) НЧ/LF – 148,5 – 283,5;
- 2) СЧ/MF – 526,5 – 1606,5 кГц;
- 3) ВЧ/HF –  $\approx$  от 3 до 27 МГц (отдельные полосы);

Режимы передачи и типовые условия распространения.

Режим *A*: Гауссовский канал с минимальными замираниями.

Режим *B*: Канал с частотно – селективными замираниями и с большим запаздыванием.

Режим *C*: Уровень помехозащищенности *B*, но с большим допустимым доплеровским сдвигом частоты.

Режим *D*: Уровень помехозащищенности *B*, но с большим допустимым доплеровским сдвигом частоты и запаздыванием.

Типовые радиовещательные каналы на частотах ниже 30 МГц характеризуются полосой 9 или 10 кГц.

Система DRM предусматривает 6 видов каналов кратных данным интервалам частот.

Таблица.

Заполнение спектра	0	1	2	3	4	5
$\Delta f$ , кГц	4,5	5	9	10	18	20

При любой ширине полосы эффективность передачи определяется компромиссом между пропускной способностью и помехоустойчивостью. Важную роль в этом играют две совокупности параметров:

1) Кодовая скорость *R* корректирующего кода и кратность используемой модуляции.

2) Параметры OFDM символа.

Параметры OFDM символов.

Таблица.

Уровень помехозащищенности	$T_{и}, \text{ мс}$	$T_{д}, \text{ км}$	$T_S = T_{и} + T_{д}, \text{ мс}$	$T_{д} / T_{и}$
<i>A</i>	24	2,66	26,66	1/9
<i>B</i>	21,33	5,33	26,66	1/4
<i>C</i>	14,66	5,33	20,00	4/11
<i>D</i>	9,33	7,33	16,66	11/14

Скорость кода  $R$  – отношение доли полезных символов в коде к общему числу символов. В DRM 0,5 – 0,78.

В DRM в качестве модуляции элементарных составляющих COFDM сигнала используется КАМ. Для передачи служебной информации используется КАМ – 4 или КАМ – 16, для передачи полезной информации – КАМ – 16, КАМ – 64.

Чем меньше кратность, тем меньше скорость и выше помехоустойчивость.

Минимальная скорость передачи полезной информации:  
4,8 кбит/с ( $R=0,5$ ; КАМ – 16; 4,15 кГц).

Максимальная скорость передачи полезной информации:  
72 кбит/с ( $R=0,78$ ; КАМ – 64; 20 кГц).

Спектральная эффективность:

DRM 4,5 – 5 бит/с/Гц

DAB 1,3 – 1,5 бит/с/Гц