

ОПИКСС

1. Основные определения. Обобщенная модель системы передачи

Информация - сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления

Сообщение - слово, блок или группа блоков данных, предназначенные для передачи и воспринимаемые их потребителем однозначно и как единое целое

Данные - информация, представленная в виде, пригодном для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека

Сигнал - изменяющаяся физическая величина, отображающая сообщение

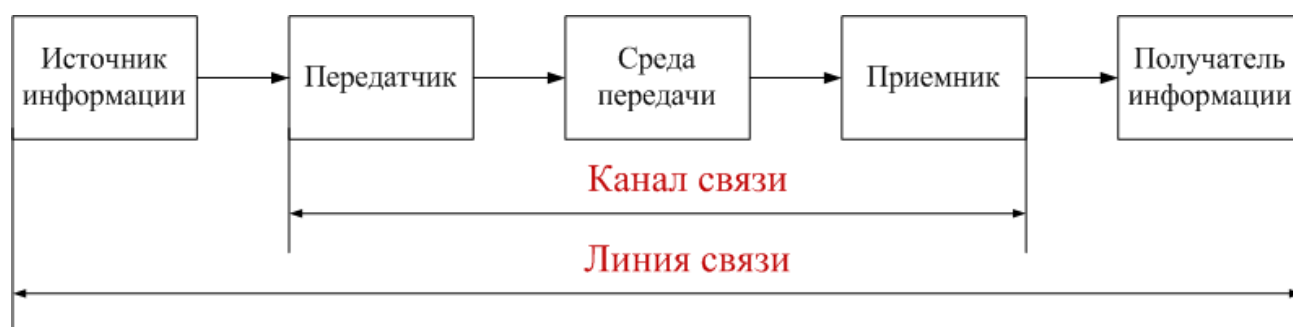
Сеть связи - технологическая система, включающая в себя средства и линии связи и предназначенная для электросвязи

Электросвязь - любые излучение, передача или прием знаков, сигналов, голосовой информации, письменного текста, изображений, звуков или сообщений любого рода по радиосистеме, проводной, оптической и другим электромагнитным системам

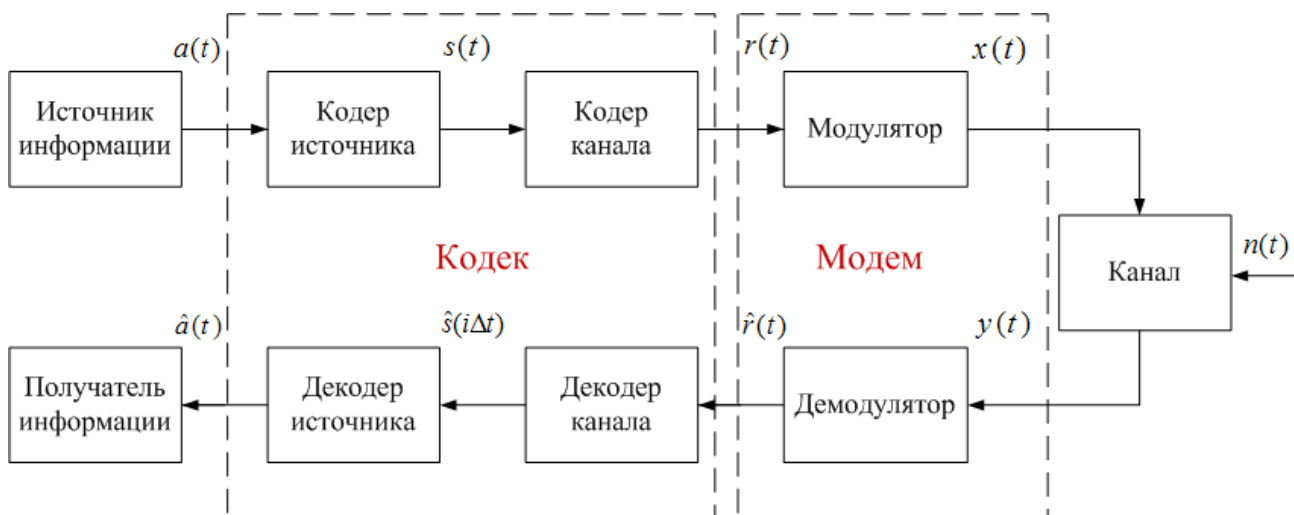
Средства связи - технические и программные средства, используемые для формирования, приема, обработки, хранения, передачи, доставки сообщений электросвязи или почтовых отправок, а также иные технические и программные средства, используемые при оказании услуг связи или обеспечении функционирования сетей связи

Линии связи - линии передачи, физические цепи и линейно-кабельные сооружения связи

Обобщенная модель системы передачи



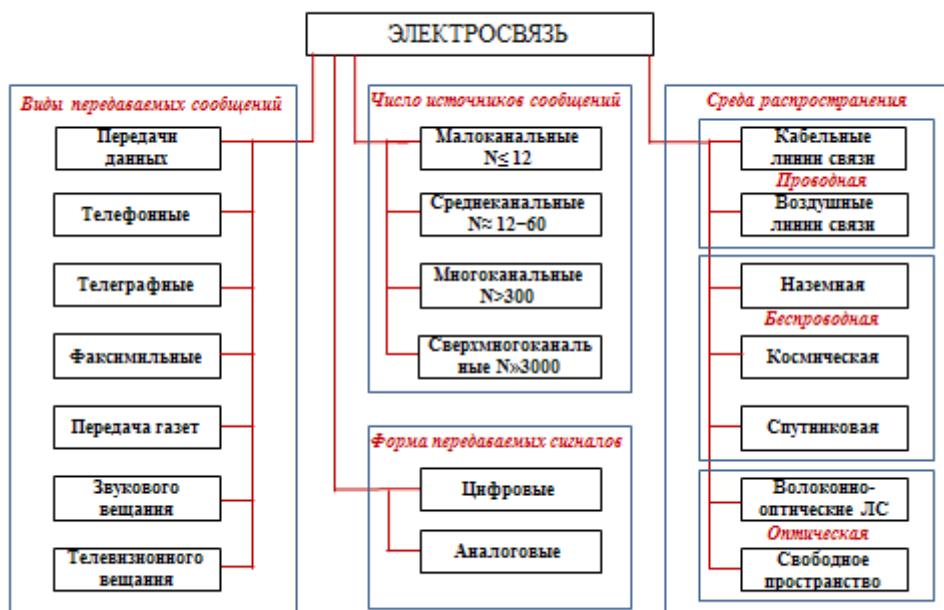
2. Модель цифровой системы передачи



3. Классификация систем электросвязи

Классификация систем электросвязи

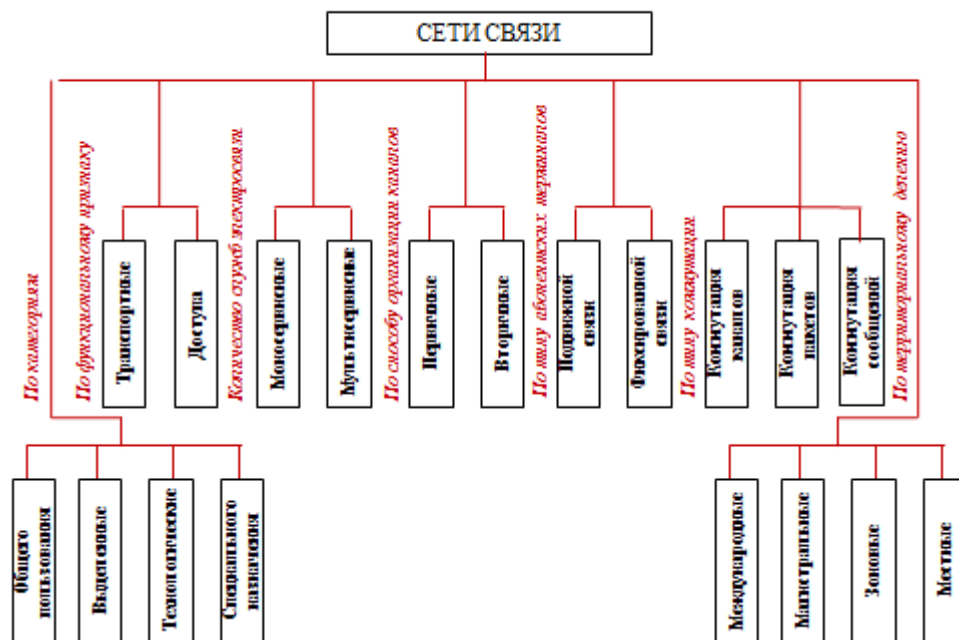
Гришан О.П.ТСС



4. Классификация сетей связи

Классификация сетей связи

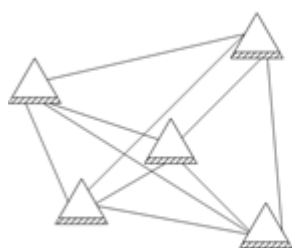
Гришан О.П.ТСС



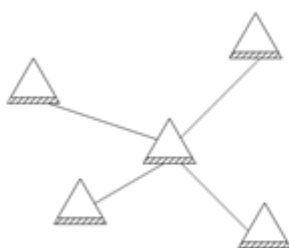
5. Топология сетей связи

Топология сетей связи

Григорьев ОПТСС



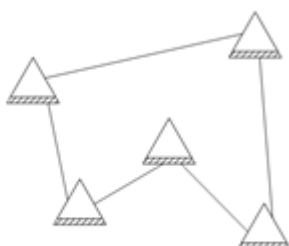
- 1. полносвязная
- (каждый с каждым)



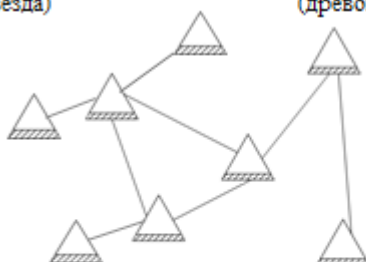
- 2. радиальная
- (звезда)



- 3. радиально-узловая
- (древовидная)



- 4. кольцо

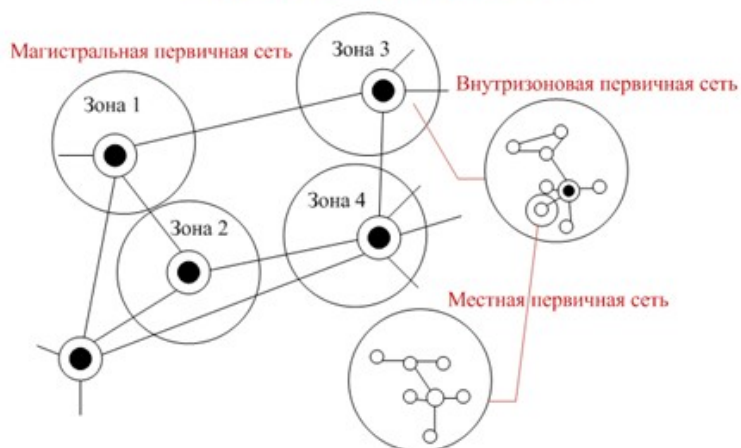


- 5. комбинированная

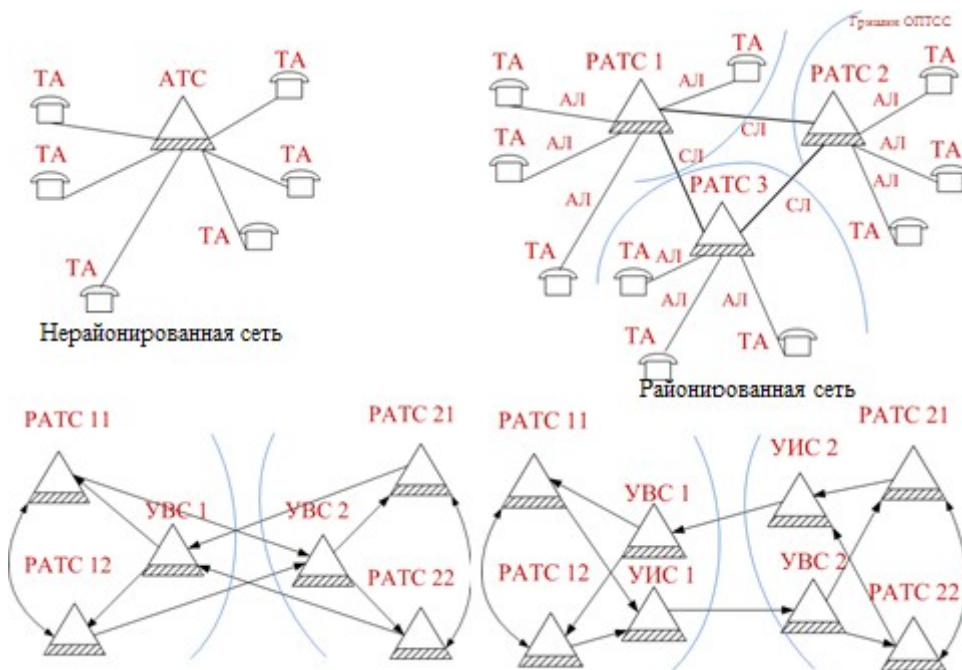
6. Структура первичной сети

Структура первичной сети

Григорьев ОПТСС



7. Организация городской телефонной сети.



8. Модель взаимодействия открытых систем.

Модель взаимодействия открытых систем



9. Взаимодействие уровней модели OSI.

Взаимодействие уровней

Гришин ОПТСС

					Блок данных	Прикладные данные
Заголовок протокола представления				З ₁	Блок данных	БД протокола представления
Заголовок протокола сеанса			З ₂	З ₁	Блок данных	БД протокола сеанса
Заголовок транспортной услуги		З ₃	З ₂	З ₁	Блок данных	БД транспортного протокола
Заголовок сетевой услуги	З ₄	З ₃	З ₂	З ₁	Блок данных	БД сетевого протокола
Заголовок канала ПД	З ₅	З ₄	З ₃	З ₂	Блок данных	БД протокола канала

10. Абсолютный уровень передачи.

Уровни передаваемых сигналов

Гришин ОПТСС

- Преимущества использования относительных величин:
- 1. Чувствительность слухового аппарата к воздействию звукового сигнала подчиняется логарифмическому закону
- 2. Потери сигнала в линии подчиняются экспоненциальному закону
- 3. Порядок логарифмических величин оказывается меньше, чем в случае использования абсолютных величин
- 4. Операции умножения и деления заменяются операциями сложения и вычитания
- Уровень по мощности: $p_n = 10 \lg \left(\frac{P_i}{P_0} \right), \text{дБ}$ $p_n = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{P_i}{P_0} \right), \text{Нн}$
- Уровень по напряжению: $p_n = 20 \lg \left(\frac{U_i}{U_0} \right), \text{дБ}$ $p_n = \ln \left(\frac{U_i}{U_0} \right), \text{Нн}$
- Уровень по току: $p_n = 20 \lg \left(\frac{I_i}{I_0} \right), \text{дБ}$ $p_n = \ln \left(\frac{I_i}{I_0} \right), \text{Нн}$
- Абсолютный уровень: $P_i = P_0 = 1 \text{ мВт}$, $U_i = U_0 = 0,775 \text{ В}$, $I_i = I_0 = 1,29 \text{ мА}$, $R_0 = 600 \text{ Ом}$ $p_n, \text{дБм}$ $p_n, \text{дБн}$ $p_n, \text{дБм}$
 $p_n \neq p_u \neq p_i$

$$p_u = 10 \lg \left(\frac{P_i}{P_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{U_i^2 R_0}{U_0^2 R_i} \right) = 10 \lg \left(\left(\frac{U_i}{U_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_0}{R_i} \right)^{-1} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_i}{U_0} \right) - 10 \lg \left(\frac{R_i}{R_0} \right) = p_n - 10 \lg \left(\frac{R_i}{R_0} \right)$$

$$p_i = 10 \lg \left(\frac{P_i}{P_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{I_i^2 R_0}{I_0^2 R_i} \right) = 10 \lg \left(\left(\frac{I_i}{I_0} \right)^2 \cdot \frac{R_0}{R_i} \right) = 20 \lg \left(\frac{I_i}{I_0} \right) + 10 \lg \left(\frac{R_0}{R_i} \right) = p_n + 10 \lg \left(\frac{R_0}{R_i} \right)$$

11. Относительный уровень передачи. Диаграмма уровней.

- Относительный уровень:

$$P_{\text{вх}} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right), \text{ дБмО} \quad P_{\text{вх}} = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_0} \right), \text{ дБнО}$$

$$P_{\text{вх}} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_0} \cdot \frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_0} \right) + 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = P_2 - P_1, \text{ дБмО}$$

$$P_{\text{вх}} = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_2}{U_0} \cdot \frac{U_1}{U_2} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_2}{U_0} \right) + 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right) = P_2 - P_1, \text{ дБнО}$$

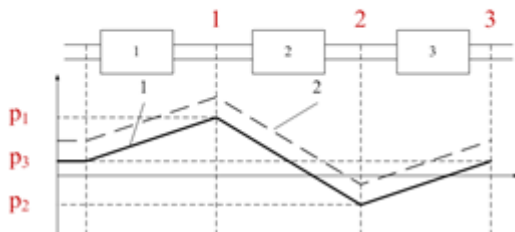
- Затухание α : $\alpha = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}} \right)$ Усиление κ : $\kappa = -\alpha = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \right)$ Коэффициент усиления K : $K = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$

- Затухание α : $\alpha = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вых}}} \right)$ Усиление κ : $\kappa = 20 \lg \left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \right)$ Коэффициент усиления K : $K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$

- Динамический диапазон: $D = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{ш}}}\right), \text{ дБ}$ Пик-фактор: $Q = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{эф}}}\right), \text{ дБ}$

- Помехозащищенность сигнала: $A_s = 10 \lg \left(\frac{P_s}{P_{\text{ш}}}\right), \text{ дБ}$

- Диаграмма уровней:



Граници ОПТС

12. Основные характеристики сигналов электросвязи.

Основные характеристики сигналов электросвязи

Граници ОПТС

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(2\pi kft) + b_k \sin(2\pi kft))$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt \quad a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(2\pi kft) dt \quad b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \sin(2\pi kft) dt$$

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp(-j\omega t) dt \quad s(t) \Leftrightarrow S(j\omega) \quad s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega$$

$$s(t) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt < \infty$$

Пример: $s(t) = \begin{cases} U, & t \in [-T/2, T/2] \\ 0, & t \notin [-T/2, T/2] \end{cases}$

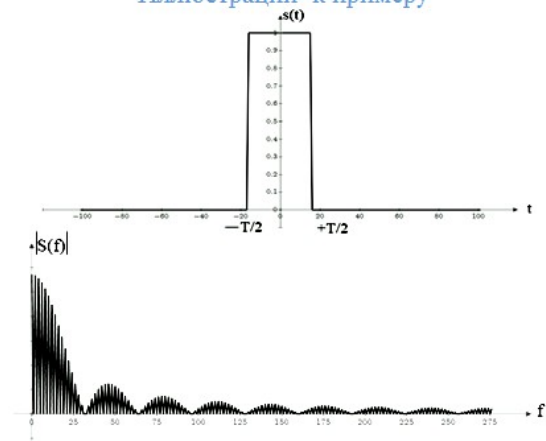
$$S(j\omega) = \text{Re} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp(-j\omega t) dt \right\} = \text{Re} \left\{ \int_{-T/2}^{T/2} U \exp(-j\omega t) dt \right\} =$$

$$= \text{Re} \left\{ \frac{U}{-j\omega} \exp(-j\omega t) \right\} \Big|_{-T/2}^{T/2} = \text{Re} \left\{ \frac{U}{-j\omega} \cos(\omega t) - j \frac{U}{\omega} \sin(\omega t) \right\} \Big|_{-T/2}^{T/2} =$$

$$= \text{Re} \left\{ \frac{jU}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{U}{\omega} \sin(\omega t) \right\} \Big|_{-T/2}^{T/2} = \frac{U}{\omega} \sin(\omega T) = UT \frac{\sin(\omega T)}{\omega T}$$

Иллюстрации к примеру

Граници ОПТС



13. Линейное разделение сигналов.

Линейное разделение сигналов

Граники ОПТС

$$S(i\Delta t) = e_1 a_1(i\Delta t) + e_2 a_2(i\Delta t) + \dots + e_N a_N(i\Delta t)$$

$$S_1 = e_{11} a_1 + e_{12} a_2 + \dots + e_{1N} a_N$$

$$S_2 = e_{21} a_1 + e_{22} a_2 + \dots + e_{2N} a_N$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

$$S_N = e_{N1} a_1 + e_{N2} a_2 + \dots + e_{NN} a_N$$

$$a_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad a_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} \quad \dots \quad a_N = \frac{\Delta_N}{\Delta}$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} e_{11} & \dots & e_{1N} \\ e_{21} & \dots & e_{2N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{N1} & \dots & e_{NN} \end{bmatrix} \quad \Delta_1 = \begin{bmatrix} S_1 & \dots & e_{1N} \\ S_2 & \dots & e_{2N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_N & \dots & e_{NN} \end{bmatrix} \quad \dots \quad \Delta_N = \begin{bmatrix} e_{11} & \dots & S_1 \\ e_{21} & \dots & S_2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{N1} & \dots & S_N \end{bmatrix}$$

Пример

Граники ОПТС

$$5 = 1a_1 + 3a_2 - 4a_N$$

$$3 = 2a_1 - a_2 + 2a_N$$

$$-2 = a_1 - 3a_2 + 2a_N$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} 1 & 3 & -4 \\ 2 & -1 & 2 \\ 1 & -3 & 2 \end{bmatrix} = 18 \quad \Delta_1 = \begin{bmatrix} 5 & 3 & -4 \\ 3 & -1 & 2 \\ -2 & -3 & 2 \end{bmatrix} = 34$$

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} 1 & 5 & -4 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & -2 & 2 \end{bmatrix} = -12 \quad \Delta_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & -1 & 3 \\ 1 & -3 & -2 \end{bmatrix} = 7$$

$$a_1 = \frac{34}{18} = 1.89 \quad a_2 = \frac{-12}{18} = -0.67 \quad a_3 = \frac{7}{18} = 0.39$$

14. Условия линейного разделения сигналов.

Условие линейного разделения сигналов

Граники ОПТС

$$a_1 \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{21} \\ \vdots \\ e_{N1} \end{bmatrix} + a_2 \begin{bmatrix} e_{12} \\ e_{22} \\ \vdots \\ e_{N2} \end{bmatrix} + \dots + a_N \begin{bmatrix} e_{1N} \\ e_{2N} \\ \vdots \\ e_{NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \Leftrightarrow a_1 \equiv a_2 \equiv \dots \equiv a_N \equiv 0$$

$$a_1 \mathbf{e}_1 + a_2 \mathbf{e}_2 + \dots + a_N \mathbf{e}_N = \mathbf{0}$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1N} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \dots & \gamma_{NN} \end{bmatrix} \quad \gamma_{ij} = \mathbf{e}_i^T \mathbf{e}_j = \sum_{n=1}^N e_{in} e_{jn}$$

$$\Gamma > 0 \Rightarrow \mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_N \text{ Линейно независимы}$$

$$\Gamma = 0 \Rightarrow \mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_N \text{ Линейно зависимы}$$

Пример

Граники ОПТС

$$\left. \begin{aligned} 0 &= 1a_1 + 3a_2 - 4a_N \\ 0 &= 2a_1 - a_2 + 2a_N \\ 0 &= 1a_1 - 3a_2 + 2a_N \end{aligned} \right\} \quad \mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{e}_2 = \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ -3 \end{bmatrix} \quad \mathbf{e}_3 = \begin{bmatrix} -4 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$\gamma_{11} = \mathbf{e}_1^T \mathbf{e}_1 = 1 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 6 \quad \gamma_{12} = \mathbf{e}_1^T \mathbf{e}_2 = 1 \cdot 3 + 2 \cdot (-1) + 1 \cdot (-3) = -2$$

$$\gamma_{13} = \mathbf{e}_1^T \mathbf{e}_3 = 2 \quad \gamma_{21} = \mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_1 = -2 \quad \gamma_{22} = \mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_2 = 19 \quad \gamma_{23} = \mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_3 = -20$$

$$\gamma_{31} = \mathbf{e}_3^T \mathbf{e}_1 = 2 \quad \gamma_{32} = \mathbf{e}_3^T \mathbf{e}_2 = -20 \quad \gamma_{33} = \mathbf{e}_3^T \mathbf{e}_3 = 24$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 6 & -2 & 2 \\ -2 & 19 & -20 \\ 2 & -20 & 24 \end{bmatrix} = 324 \Rightarrow \text{Сигналы линейно независимы}$$

Граники ОПТС

$$\left. \begin{aligned} 0 &= 1a_1 + 3a_2 - 2a_N \\ 0 &= 2a_1 - a_2 - 4a_N \\ 0 &= 1a_1 - 3a_2 - 2a_N \end{aligned} \right\} \quad \mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{e}_2 = \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ -3 \end{bmatrix} \quad \mathbf{e}_3 = \begin{bmatrix} -2 \\ -4 \\ -2 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 6 & -2 & -12 \\ -2 & 19 & 4 \\ -12 & 4 & 24 \end{bmatrix} = 0 \Rightarrow \text{Сигналы линейно зависимы}$$

$$\mathbf{e}_3 = -2\mathbf{e}_1$$

15. Максимальное количество линейно разделимых сигналов в N-мерном линейном пространстве

Максимальное количество линейно разделимых сигналов в N-мерном линейном пространстве

$$a_1 \mathbf{e}_1 + a_2 \mathbf{e}_2 + \dots + a_N \mathbf{e}_N = \mathbf{0}$$

$$a_1 \mathbf{e}_1 + a_2 \mathbf{e}_2 + \dots + a_N \mathbf{e}_N + \mathbf{e}_{N+1} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{E}\mathbf{A} + \mathbf{e}_{N+1} = \mathbf{0} \quad \mathbf{e}_{N+1} = -\mathbf{E}\mathbf{A}$$

$$\mathbf{A} = -\mathbf{E}^{-1} \mathbf{e}_{N+1}$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1N} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{N1} & e_{N2} & \dots & e_{NN} \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix}$$

$$\gamma_{ij} = \mathbf{e}_i^T \mathbf{e}_j = \sum_{n=1}^N e_{in} e_{jn}$$

16. Формирование группового сигнала.

Формирование группового сигнала

$$\mathbf{S} = a_1 \mathbf{e}_1 + a_2 \mathbf{e}_2 + \dots + a_N \mathbf{e}_N = \mathbf{s}_1 + \mathbf{s}_2 + \dots + \mathbf{s}_N = \sum_{n=1}^N \mathbf{s}_n$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{E}\mathbf{A}$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{E}^{-1} \mathbf{S} = \mathbf{E}^{-1} \mathbf{E}\mathbf{A}$$

$$\mathbf{E}^{-1} \mathbf{E} = \mathbf{E}^T \mathbf{E} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1N} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{N1} & \gamma_{N2} & \dots & \gamma_{NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = \mathbf{I}$$

$$\gamma_{ij} = \mathbf{e}_i^T \mathbf{e}_j = \begin{cases} 1, \forall i = j \\ 0, \forall i \neq j \end{cases}$$

$$\mathbf{e}_2^T \mathbf{S} = a_1 \mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_1 + a_2 \mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_2 + \dots + a_N \mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_N = a_2$$

17. Ортогональные переносчики. Разделение ортогональных переносчиков

18. Разделение линейно-независимых сигналов.

Разделение линейно-независимых сигналов

Граничные ОПТС

$$\mathbf{b}_1 = c_{11}\mathbf{e}_1 + c_{12}\mathbf{e}_2 + \dots + c_{1N}\mathbf{e}_N$$

$$\mathbf{b}_2 = c_{21}\mathbf{e}_1 + c_{22}\mathbf{e}_2 + \dots + c_{2N}\mathbf{e}_N$$

\vdots

$$\mathbf{b}_N = c_{N1}\mathbf{e}_1 + c_{N2}\mathbf{e}_2 + \dots + c_{NN}\mathbf{e}_N$$

$$\mathbf{b}_i^T \mathbf{e}_j = \begin{cases} 1, \forall i = j \\ 0, \forall i \neq j \end{cases} \quad i, j = 1 \dots N$$

$$\mathbf{b}_1 = c_{11}\mathbf{e}_1 + c_{12}\mathbf{e}_2 + \dots + c_{1N}\mathbf{e}_N$$

$$\mathbf{b}_2 = c_{21}\mathbf{e}_1 + c_{22}\mathbf{e}_2 + \dots + c_{2N}\mathbf{e}_N$$

\vdots

$$\mathbf{b}_N = c_{N1}\mathbf{e}_1 + c_{N2}\mathbf{e}_2 + \dots + c_{NN}\mathbf{e}_N$$

Пример

Граничные ОПТС

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_1 &= \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} & \mathbf{e}_2 &= \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix} & \mathbf{b}_1 &= c_{11}\mathbf{e}_1 + c_{12}\mathbf{e}_2 \\ & & & & \mathbf{b}_2 &= c_{21}\mathbf{e}_1 + c_{22}\mathbf{e}_2 \\ \Rightarrow \mathbf{b}_1^T \mathbf{e}_1 &= 1 & \mathbf{b}_1^T \mathbf{e}_2 &= 0 & \mathbf{b}_2^T \mathbf{e}_1 &= 0 & \mathbf{b}_2^T \mathbf{e}_2 &= 1 \\ \begin{cases} \mathbf{b}_1^T \mathbf{e}_1 &= c_{11}\mathbf{e}_1^T \mathbf{e}_1 + c_{12}\mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_1 = c_{11} \cdot 5 + c_{12} \cdot 6 = 1 \\ \mathbf{b}_1^T \mathbf{e}_2 &= c_{11}\mathbf{e}_1^T \mathbf{e}_2 + c_{12}\mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_2 = c_{11} \cdot 6 + c_{12} \cdot 8 = 0 \end{cases} \\ \begin{cases} \mathbf{b}_2^T \mathbf{e}_1 &= c_{21}\mathbf{e}_1^T \mathbf{e}_1 + c_{22}\mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_1 = c_{21} \cdot 5 + c_{22} \cdot 6 = 0 \\ \mathbf{b}_2^T \mathbf{e}_2 &= c_{21}\mathbf{e}_1^T \mathbf{e}_2 + c_{22}\mathbf{e}_2^T \mathbf{e}_2 = c_{21} \cdot 6 + c_{22} \cdot 8 = 1 \end{cases} \\ c_{11} &= -0.125 & c_{12} &= 0.271 \\ c_{21} &= -1.5 & c_{22} &= 1.25 \end{aligned}$$

19. Разделение сигналов с конечной энергией.

Разделение сигналов с конечной энергией

Граничные ОПТС

$$\int_{i\Delta t}^{(i+1)\Delta t} e_n^2(t) dt < \infty, \quad n = 1 \dots N$$

$$\int_{i\Delta t}^{(i+1)\Delta t} e_i(t) e_j(t) dt = \begin{cases} 1, \forall i = j \\ 0, \forall i \neq j \end{cases} \quad i, j = 1 \dots N$$

$$S(t) = a_1 e_1(t) + a_2 e_2(t) + \dots + a_N e_N(t) = \sum_{n=1}^N a_n e_n(t) = \mathbf{A}^T \mathbf{E}(t)$$

$$\mathbf{A} = \int_{i\Delta t}^{(i+1)\Delta t} s(t) \mathbf{E}(t) dt$$

$$a_n = \int_{i\Delta t}^{(i+1)\Delta t} s(t) e_n(t) dt, \quad n = 1 \dots N$$

20. Разделение сигналов с конечной мощностью.

Разделение сигналов с конечной мощностью

Граничные ОПТС

$$\int_{i\Delta t}^{(i+1)\Delta t} g(t, \tau) e_i(\tau) e_j(\tau) d\tau = \begin{cases} \text{const}, \forall i = j \\ 0, \forall i \neq j \end{cases} \quad i, j = 1 \dots N$$

$$g(\tau) = 2G_0 \Delta f \frac{\sin(\Delta \omega \tau)}{\Delta \omega \tau} \quad g(\tau) \Leftrightarrow G(\omega) = \begin{cases} G_0, 0 \leq |\omega| \leq \Delta \omega \\ 0, |\omega| > \Delta \omega \end{cases}$$

$$S(t) = \sum_{n=1}^N a_n(t) e_n(t) = \mathbf{A}^T(t) \mathbf{E}(t)$$

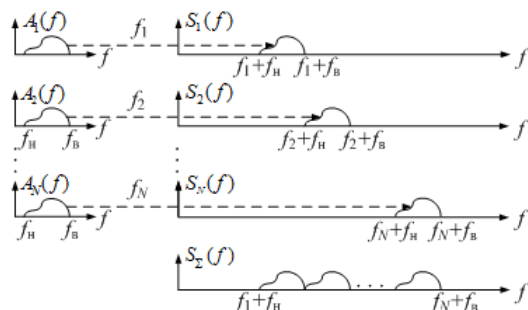
$$\mathbf{A}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{E}(\tau) s(\tau) g(t - \tau) d\tau \quad a_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e_n(\tau) s(\tau) g(t - \tau) d\tau$$

21. Система передачи с ЧРК.

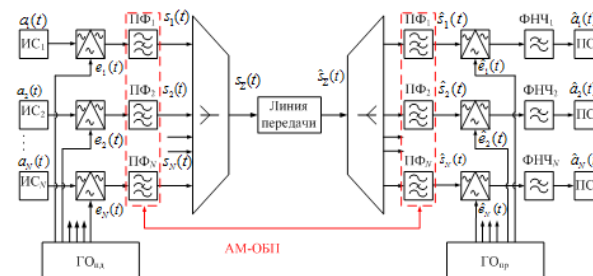
Аналоговые системы передачи с частотным разделением каналов

Гришкин ОПТСС

Гришкин ОПТСС



Структурная схема МСП с ЧРК



22. Метод амплитудной модуляции с передачей одной боковой полосы частот

Амплитудная модуляция

Гришкин ОПТСС

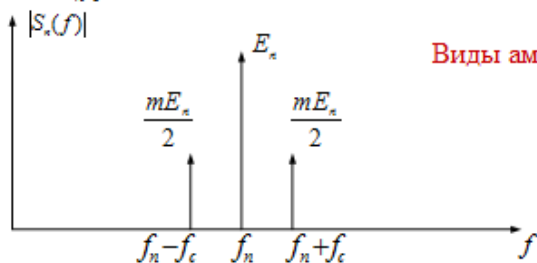
$$a_n(t) = A_n \cos(2\pi f_c t)$$

$$e_n(t) = E_n \cos(2\pi f_n t)$$

$$s_n(t) = E_n \left[1 + \frac{A_n}{E_n} \cos(2\pi f_c t) \right] \cos(2\pi f_n t) = E_n (1 + m a_n(t)) \cos(2\pi f_n t) =$$

$$= E_n \cos(2\pi f_n t) + 0.5 m E_n [\cos[2\pi(f_n + f_c)t] + \cos[2\pi(f_n - f_c)t]]$$

$$s_\Sigma(t) = \sum_{n=1}^N s_n(t)$$



Виды амплитудной модуляции

1. АМ-ДБП-Н
2. АМ-ДБП
3. АМ-ОБП-Н
4. АМ-ОБП
5. АМ-ЧП

Спектр модулированного сигнала

27. Системы передачи с временным разделением каналов

Системы передачи с временным разделением каналов

Гришкин ОПТСС

$$T_{\pi} = \frac{1}{F_{\pi}} \leq \frac{1}{2F_{\pi}}$$

$$g(t) = \frac{\sin(2\pi F_{\pi} t)}{2\pi F_{\pi} t}$$

$$a(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a(iT_{\pi}) g(t - iT_{\pi}) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a(iT_{\pi}) \frac{\sin 2\pi F_{\pi} (t - iT_{\pi})}{2\pi F_{\pi} (t - iT_{\pi})}$$

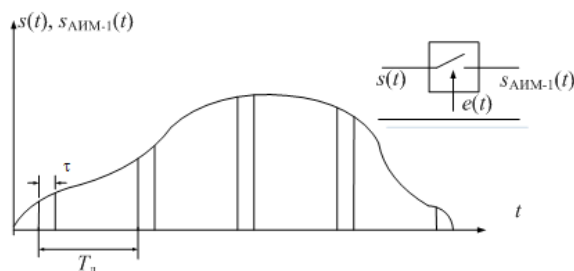
$$s_n(t) = a_n(t) e_n(t) = a_n(t) \sum_k e_n(t - kT_{\pi})$$

$$s_{\Sigma}(t) = \sum_{n=1}^N s_n(t) = \sum_{n=1}^N a_n(t) \sum_k e_n(t - kT_{\pi} - (n-1)\tau)$$

28. Амплитудно-импульсная модуляция первого рода

Амплитудно-импульсная модуляция 1-го рода

Гришкин ОПТСС



$$a(t) = A_0 + A_1 \cos(2\pi f_c t) = A_0 + A_1 \cos(\Omega t)$$

$$s_{\text{АИМ-1}}(t) = a(t) e(t) = a(t) \sum_k e_0(t - kT_{\pi})$$

$$s_{\text{АИМ-1}}(t) = (A_0 + A_1 \cos \Omega t) \sum_k e_0(t - kT_{\pi})$$

Гришкин ОПТСС

$$\sum_k e_0(t - kT_{\pi}) = \frac{2}{T_{\pi}} \int_0^{\frac{T_{\pi}}{2}} e_0(t) dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{4}{T_{\pi}} \int_0^{\frac{T_{\pi}}{2}} e_0(t) \cos n\Omega_{\pi} t dt \right] \cos n\Omega_{\pi} t$$

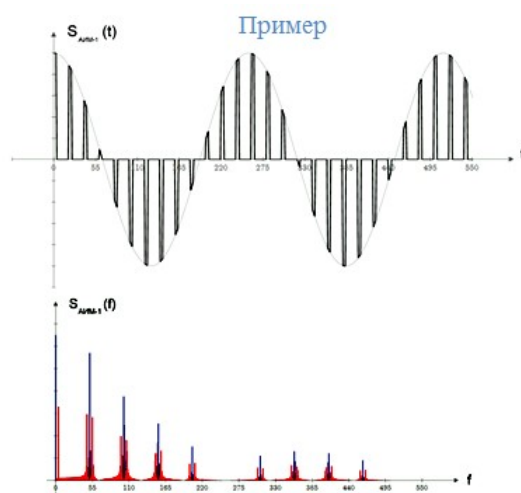
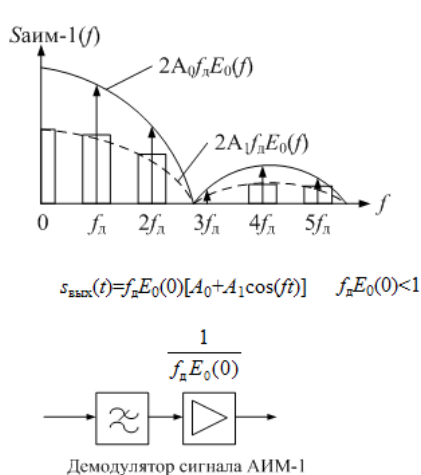
$$\sum_k e_0(t - kT_{\pi}) = f_{\pi} E_0(0) + 2f_{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} E_0(n\Omega_{\pi}) \cos n\Omega_{\pi} t$$

$$s_{\text{АИМ-1}}(t) = A_0 f_{\pi} \left\{ E_0(0) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} E_0(n\Omega_{\pi}) \cos n\Omega_{\pi} t \right\} +$$

$$+ A_1 f_{\pi} \left\{ E_0(0) \cos \Omega t + \sum_{n=1}^{\infty} E_0(n\Omega_{\pi}) [\cos(n\Omega_{\pi} - \Omega)t + \cos(n\Omega_{\pi} + \Omega)t] \right\}$$

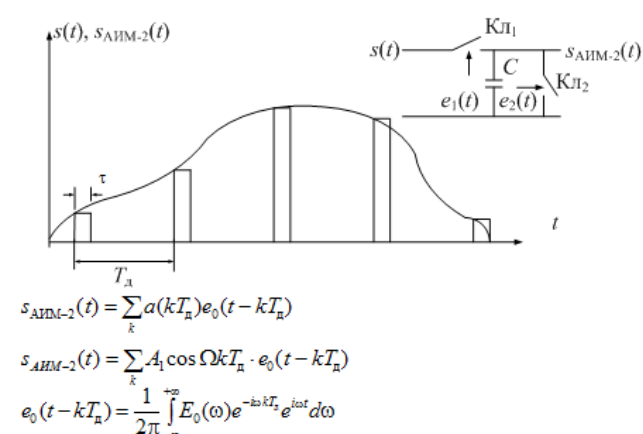
Спектр сигнала АИМ-1

$$S_{\text{АИМ-1}}(\Omega) = \frac{U\tau}{T_{\pi}} S(\Omega) + \frac{2L\tau}{T_{\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{k\Omega_{\pi}\tau}{2}\right)}{\left(\frac{k\Omega_{\pi}\tau}{2}\right)} S(k\Omega_{\pi} \pm \Omega)$$



29. Амплитудно-импульсная модуляция второго рода

Амплитудно-импульсная модуляция 2-го рода



Григорьев ОПТСС

$$\sum_k \cos \Omega_k T_n \cdot e^{-ikT_n} = \sum_k \frac{1}{2} \left[e^{ikT_n} + e^{-ikT_n} \right] e^{-i\omega_k T_n} =$$

$$= 1 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \left(e^{i(\omega - \Omega_k) T_n} + e^{-i(\omega - \Omega_k) T_n} + e^{i(\omega + \Omega_k) T_n} + e^{-i(\omega + \Omega_k) T_n} \right) =$$

$$= \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \cos(\omega - \Omega_k) T_n \right\} + \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \cos(\omega + \Omega_k) T_n \right\}.$$

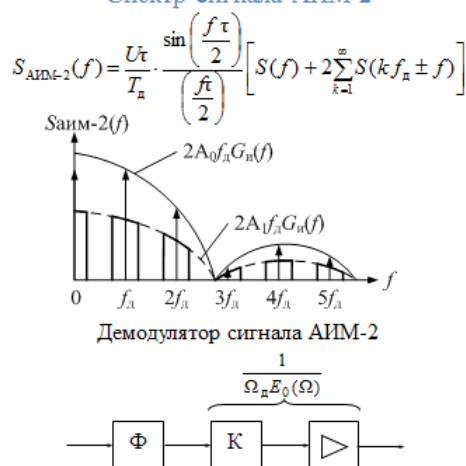
$$\left\{ \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \cos z k \right\} = \frac{\pi}{z} \sum_n \delta \left(x - n \frac{2\pi}{z} \right)$$

$$\sum_k \cos \Omega_k T_n \cdot e^{-ikT_n} = \frac{\Omega_n}{2} \left[\sum_n \delta(\omega - \Omega - n\Omega_n) + \sum_n \delta(\omega + \Omega - n\Omega_n) \right]$$

$$s_{АИМ-2}(t) = A_1 f_n \left[E_0(\Omega) \cos \Omega t + \sum_{k=1}^{\infty} E_0(k\Omega_n - \Omega) \cos(k\Omega_n - \Omega)t + \right.$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{\infty} E_0(k\Omega_n + \Omega) \cos(k\Omega_n + \Omega)t \right].$$

Спектр сигнала АИМ-2



Григорьев ОПТСС

$$s_{АИМ-2}(t) = A_1 \int_{-\infty}^{+\infty} E_0(\omega) e^{i\omega t} \frac{f_n}{2} \left[\sum_n \delta(\omega - \Omega - n\Omega_n) + \sum_n \delta(\omega + \Omega - n\Omega_n) \right] d\omega =$$

$$= A_1 \frac{f_n}{2} \sum_n \left[E_0(n\Omega_n - \Omega) e^{i(n\Omega_n - \Omega)t} + E_0(n\Omega_n + \Omega) e^{i(n\Omega_n + \Omega)t} \right].$$

$$s_{АИМ-2}(t) = A_1 f_n \left[E_0(\Omega) \cos \Omega t + \sum_{k=1}^{\infty} E_0(k\Omega_n - \Omega) \cos(k\Omega_n - \Omega)t + \right.$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{\infty} E_0(k\Omega_n + \Omega) \cos(k\Omega_n + \Omega)t \right].$$

$$E_0(-\omega) = E_0(\omega) \quad \cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$$

$$s_{АИМ-2}(t) = A_1 f_n \left[E_0(\Omega) \cos \Omega t + \sum_{k=1}^{\infty} E_0(k\Omega_n - \Omega) \cos(k\Omega_n - \Omega)t + \right.$$

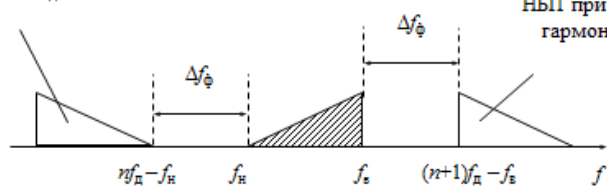
$$\left. + \sum_{k=1}^{\infty} E_0(k\Omega_n + \Omega) \cos(k\Omega_n + \Omega)t \right]$$

30. Дискретизация полосовых сигналов.

Дискретизация полосовых сигналов

Границы ОПТСС

НБП при n -й
гармонике f_d



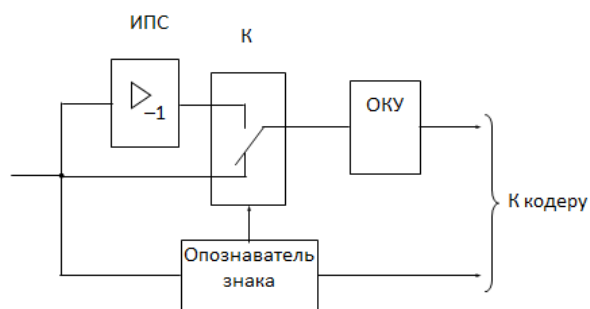
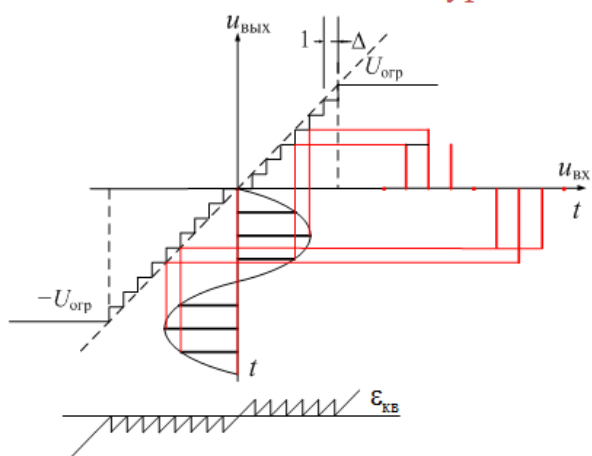
НБП при $(n+1)$ -й
гармонике f_d

$$nf_d - f_n + \Delta f_\phi \leq f_n \quad (n+1)f_d - f_n \geq f_n + \Delta f_\phi, \quad (39)$$

$$\frac{2f_n + \Delta f_\phi}{(n+1)} \leq f_d \leq \frac{2f_n - \Delta f_\phi}{n} \quad (40)$$

31. Квантование сигналов по уровню.

Квантование сигнала по уровню



Квантующее устройство для
передачи двухполярных сигналов

32. Мощность шумов квантования.

Мощность шумов квантования

$$\xi_{\text{кв}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T \varepsilon_{\text{кв}}^2(t) dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{m=0}^M \int_0^T \varepsilon_{\text{кв},m}^2(t) dt = \sum_{m=0}^M \xi_{\text{кв},m} \quad (41)$$

$$\xi_{\text{кв},m} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left[\int_{-\Delta t_{m,a}/2}^{\Delta t_{m,a}/2} \varepsilon_{\text{кв},m}^2(t) dt + \int_{-\Delta t_{m,b}/2}^{\Delta t_{m,b}/2} \varepsilon_{\text{кв},m}^2(t) dt + \dots + \int_{-\Delta t_{m,z}/2}^{\Delta t_{m,z}/2} \varepsilon_{\text{кв},m}^2(t) dt \right] = \quad (42)$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\Delta t_{m,a} + \dots + \Delta t_{m,z}}{T} \frac{1}{\Delta t_{m,a} - \Delta t_{m,z}/2} \int_{-\Delta t_{m,z}/2}^{\Delta t_{m,z}/2} \varepsilon_{\text{кв},m}^2(t) dt = p_a \frac{1}{\Delta t_{m,a} - \Delta t_{m,z}/2} \int_{-\Delta t_{m,z}/2}^{\Delta t_{m,z}/2} \left(\frac{\Delta_m}{\Delta t_{m,a}} \right)^2 t^2 dt$$

$$\xi_{\text{кв},m} = \int_{U_m - \Delta/2}^{U_m + \Delta/2} \varepsilon_{\text{кв},m}^2(U) \omega(U) dU \cong \omega(U_m) \int_{U_m - \Delta/2}^{U_m + \Delta/2} (U - U_m)^2 dU \cong$$

$$= \omega(U_m) \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} z^2 dz = \omega(U_m) \frac{\Delta^3}{12} = p_m \frac{\Delta^2}{12} \quad (43)$$

$$\xi_{\text{кв}} = \sum_{m=1}^M \omega(U_m) \frac{\Delta^3}{12} = \sum_{m=1}^M p_m \frac{\Delta^2}{12} = \frac{\Delta^2}{12} \quad (44)$$

$$\sum_{m=1}^M p_m \cong \int_{-U_{\text{огр}}}^{U_{\text{огр}}} \omega(U_m) dU = 1$$

33. Выбор числа уровней квантования.

Выбор числа уровней квантования

$$p_{\text{ср.тн.ш.}} = -13 \div 15 \text{ дБ}, \quad \sigma = 4,5 \div 5,5 \text{ дБ}$$

$$p_6 = p_{\text{ср.тн.ш.}} + 3\sigma$$

$$U_{\text{пик}} = U_0 \text{dec}(0,05 p_{\text{ср}} + k_{\text{п}}), \quad (45)$$

$$k_{\text{п}} = 16 \div 18 \text{ дБ}$$

$$U_{\text{огр}} = k \sigma_{\text{макс}}^2 \quad (46)$$

Для биполярных сигналов

$$M = \frac{2|U_{\text{огр}}|}{\sigma} + 1 \cong \frac{2|U_{\text{огр}}|}{\sigma} \quad P_{\text{кв}} = \frac{1}{3} \frac{U_{\text{огр}}^2}{M^2} = \frac{1}{3} \frac{k^2 \sigma_{\text{макс}}^2}{M^2} \quad \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{кв}}} = 12 \frac{M^2 \sigma_{\text{с}}^2}{k^2 \sigma_{\text{макс}}^2} \quad (47)$$

Для униполярных сигналов

$$M = \frac{U_{\text{огр}}}{\sigma} \quad P_{\text{кв}} = \frac{1}{12} \frac{U_{\text{огр}}^2}{M^2} = \frac{1}{12} \frac{k^2 \sigma_{\text{макс}}^2}{M^2} \quad \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{кв}}} = 3 \frac{M^2 \sigma_{\text{с}}^2}{k^2 \sigma_{\text{макс}}^2} \quad (48)$$

34. Защищенность сигнала от шумов квантования.

Помехозащищенность сигнала от шумов квантования

$$A_{\text{из}} = 10 \lg 3 + 20 \lg \frac{M}{k} + 20 \lg \frac{\sigma_{\epsilon}}{\sigma_{\text{max}}} \quad (49)$$

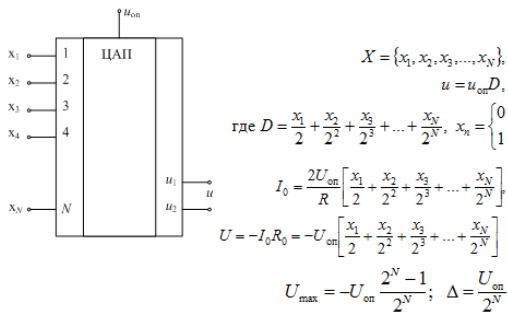
$$A_{\text{из}} = 10 \lg 12 + 20 \lg \frac{M}{k} + 20 \lg \frac{\sigma_{\epsilon}}{\sigma_{\text{max}}} \quad (50)$$

$$M = 2^m \quad A_{\text{из}} = 6m - 20 \lg k + 20 \lg \frac{\sigma_{\epsilon}}{\sigma_{\text{max}}} + 4,8 \quad (51)$$

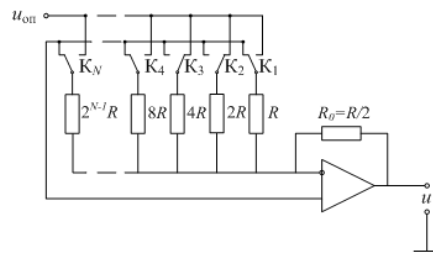
$$A_{\text{из}} = 6m - 20 \lg k + 20 \lg \frac{\sigma_{\epsilon}}{\sigma_{\text{max}}} + 10,8 \quad (52)$$

35. Цифро-аналоговый преобразователь с коммутацией напряжений

Цифро-аналоговый преобразователь

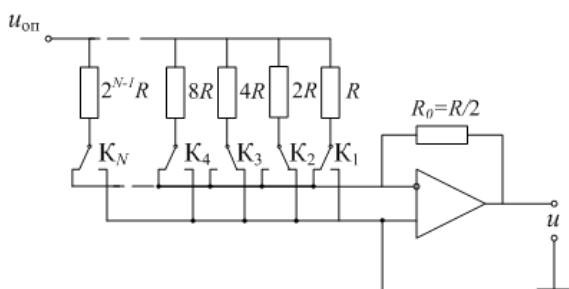


ЦАП с коммутацией напряжений



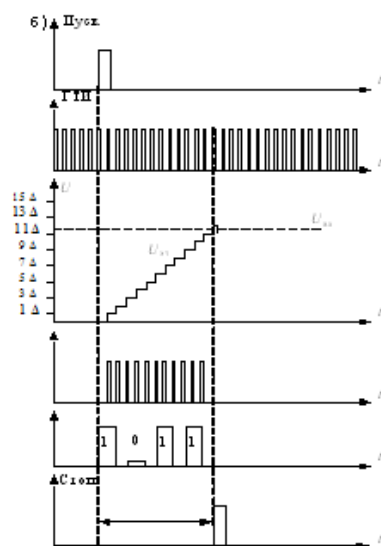
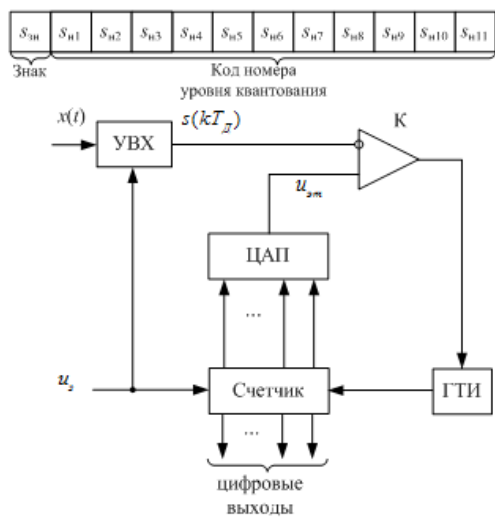
36. Цифро-аналоговый преобразователь с коммутацией токов

ЦАП с коммутацией токов

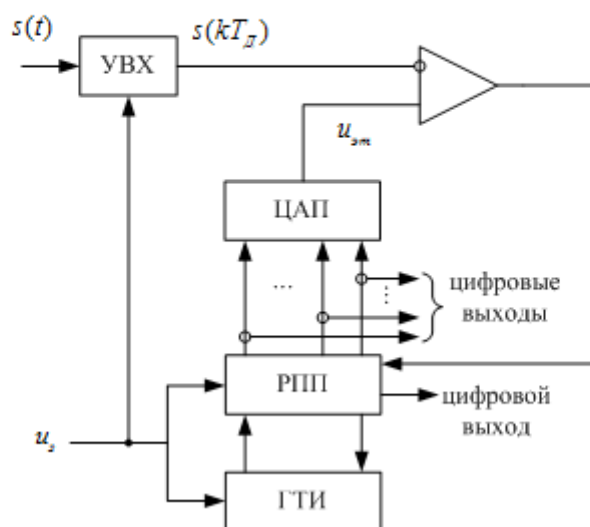


37. Аналого-цифровой преобразователь с единичными приближениями

АЦП с единичными приближений



АЦП последовательных приближений



39. Аналого-цифровой преобразователь непосредственного сравнения

АЦП непосредственного сравнения

