



Московский Авиационный
(Национальный Исследовательский
Институт
Университет)

«Программно- Определяемые Радиосистемы»

*Серкин Фёдор
Борисович*

*Кафедра 408 –
«Инфокоммуникации»*

Литература:

1. Скляр Б., «Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение», «Вильямс», Москва, Санкт-Петербург, Киев, 2003.
2. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н., «Цифровая обработка сигналов», «Радио и связь», Москва, 1990.
3. Максфилд К., «Проектирование на ПЛИС. Архитектура, средства и методы», «Додэка-XXI», Москва, 2007.
4. «IEEE 1012 Standard for Software Verification and Validation», IEEE, New York, 2005.
5. Tuttlebee W., «software defined radio. Enabling technology», WILEY, New York, 2002.

Содержание курса:

- I. Введение в ПОР.
- II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.
- III. Реализация на жесткой и программируемой логике.
- IV. Программируемое радио.

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Дискретизация.

$$T_s \leq \frac{1}{2f_m} \text{ с.}$$

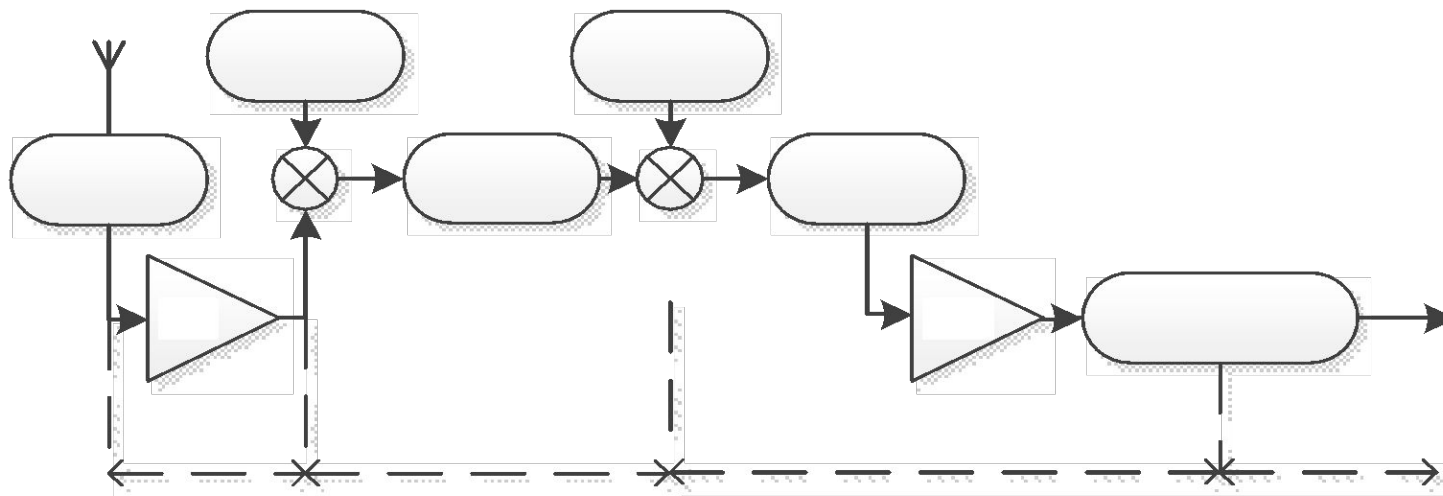
- Теорема
Котельникова.

$$f_s \geq 2f_m.$$

- Критерий
Найквиста.

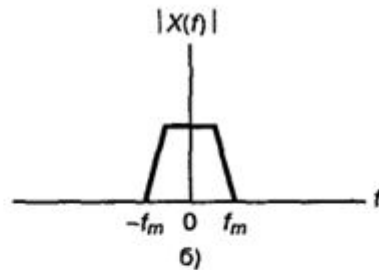
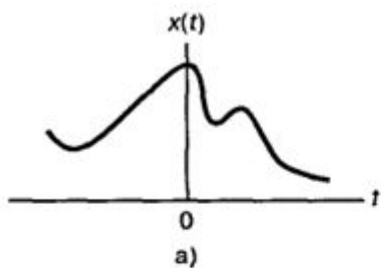
II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Пример схемы аналогового тракта.



II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

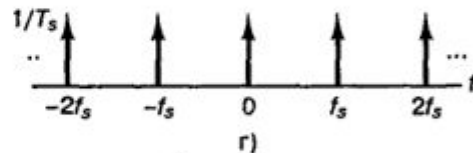
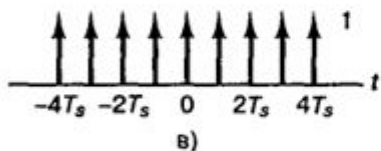
Выборка с использованием единичных импульсов.



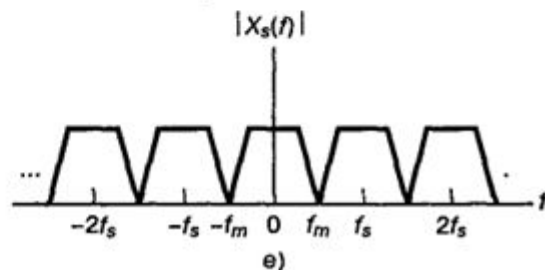
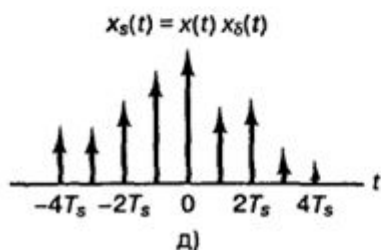
$$x_{\delta}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s). \quad (1)$$

$$x(t)\delta(t - t_0) = x(t_0)\delta(t - t_0). \quad (2)$$

$$x_s(t) = x(t)x_{\delta}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t)\delta(t - nT_s) = \quad (3)$$



$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s)\delta(t - nT_s).$$



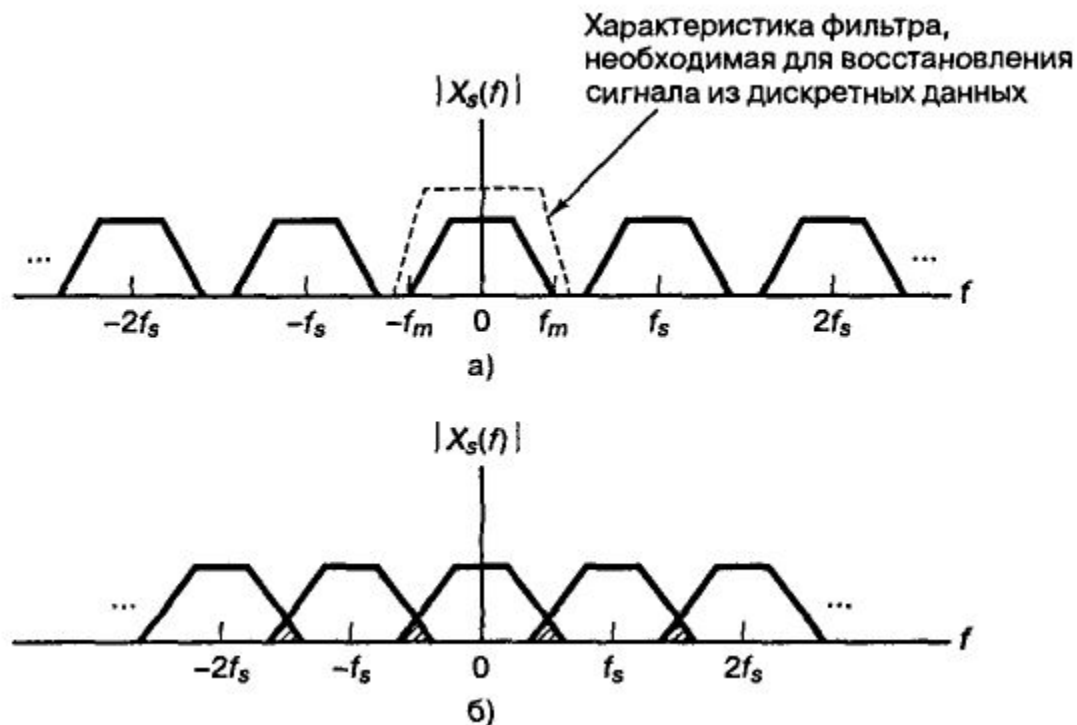
$$X_{\delta}(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - nf_s) \quad (4)$$

$$X(f) * \delta(f - nf_s) = X(f - nf_s). \quad (5)$$

$$X_s(f) = X(f) * X_{\delta}(f) = X(f) * \left[\frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - nf_s) \right] = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s) \quad (6)$$

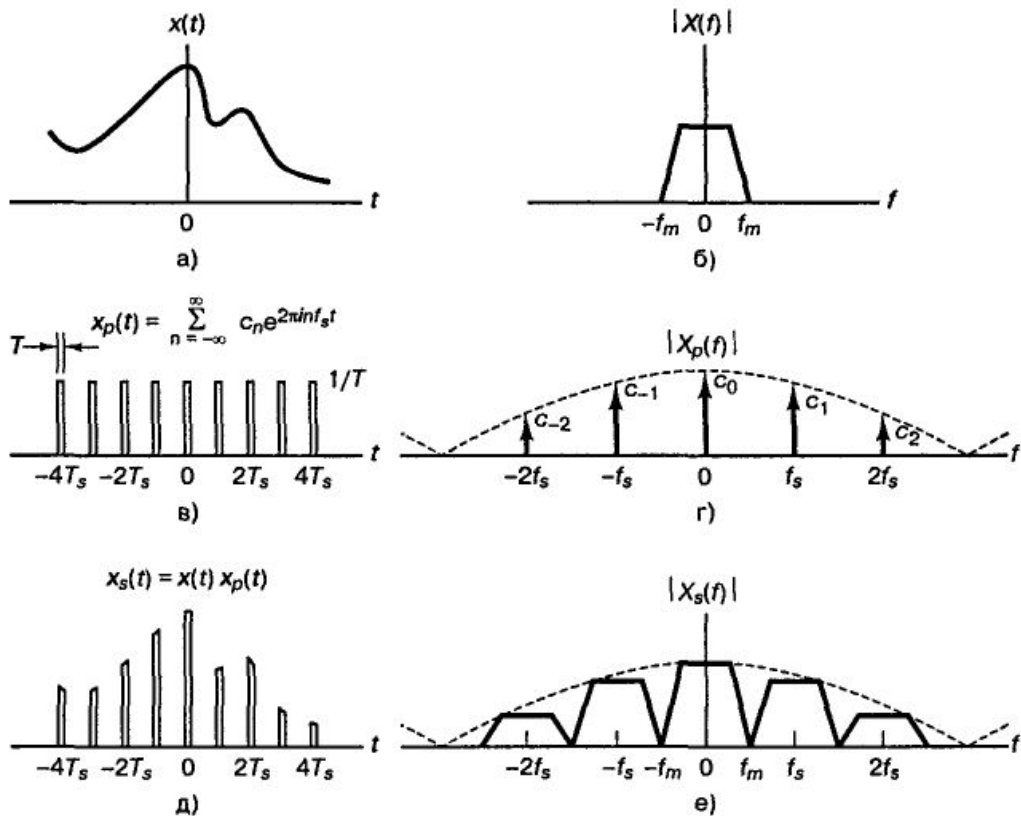
II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Выборка с использованием единичных импульсов.



II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Естественная дискретизация.



$$x_s(t) = x(t)x_p(t). \quad (1)$$

$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{2\pi i n f_s t} \quad (2)$$

$$c_n = (1/T_s) \text{sinc}(nT/T_s) \quad \text{sinc } y = \frac{\sin \pi y}{\pi y}$$

$$x_s(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{2\pi i n f_s t} \quad (3)$$

$$X_s(f) = \mathfrak{F} \left\{ x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{2\pi i n f_s t} \right\} \quad (4)$$

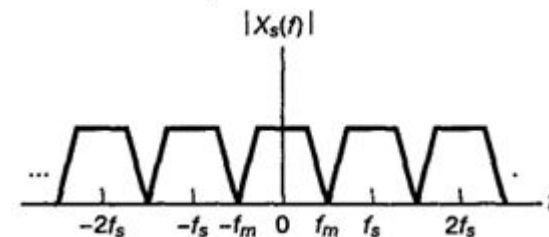
$$X_s(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \mathfrak{F} \left\{ x(t) c_n e^{2\pi i n f_s t} \right\} \quad (5)$$

$$X_s(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n X(f - n f_s) \quad (6)$$

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

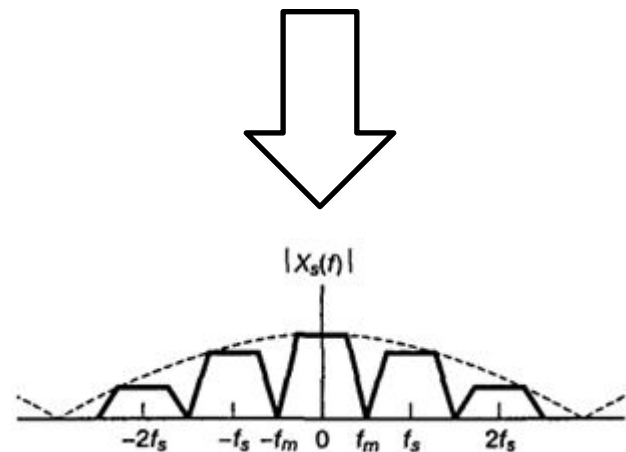
Метод «выборка-хранение».

$$\begin{aligned}
 x_s(t) &= p(t) * [x(t)x_\delta(t)] = \\
 &= p(t) * \left[x(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$



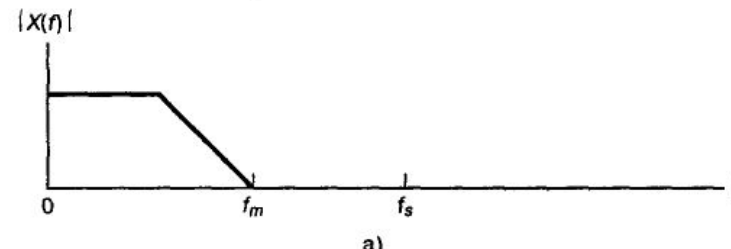
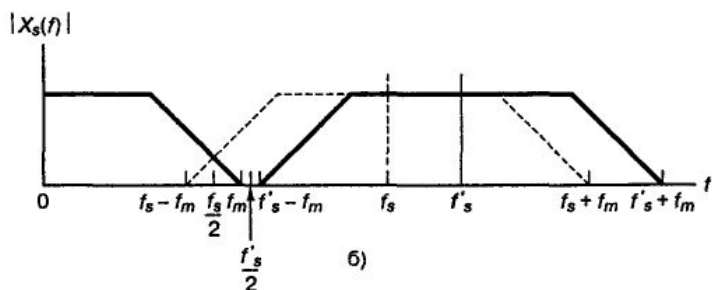
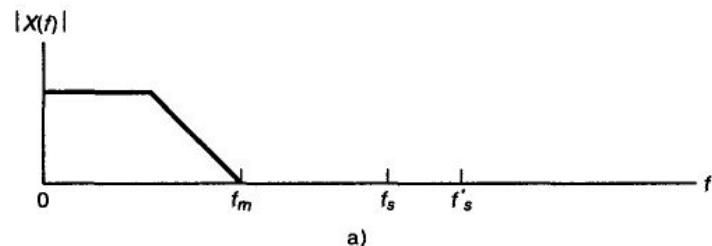
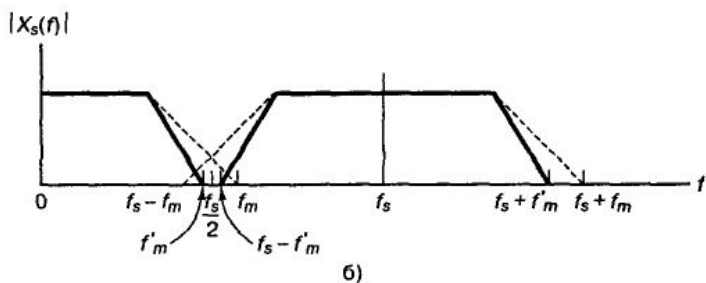
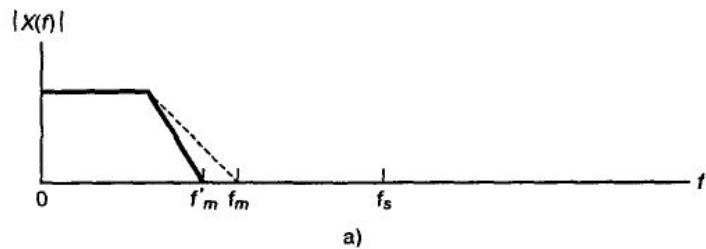
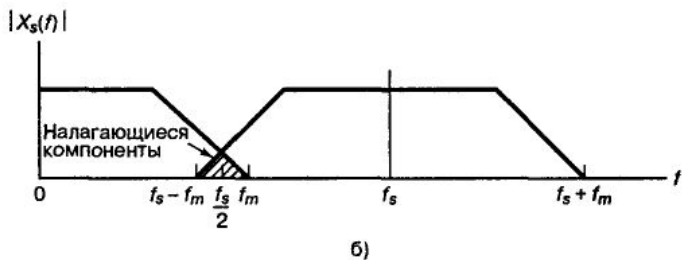
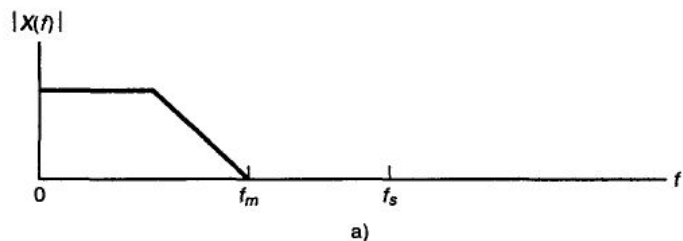
$$\begin{aligned}
 X_s(f) &= P(f) \mathfrak{F} \left\{ x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \right\} = \\
 &= P(f) \left\{ X(f) * \left[\frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - nf_s) \right] \right\} = \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$= P(f) \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s).$$



II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Наложение.



II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Зачем нужна выборка с запасом.

выборка без запаса:

1. Сигнал пропускается через высокопроизводительный аналоговый фильтр нижних частот для ограничения его полосы
2. Отфильтрованный сигнал дискретизируется с частотой Найквиста с целью создания сигнала с приблизительно ограниченной полосой. Сигнал со строго ограниченной полосой нереализуем.
3. Выборки квантуются устройством преобразования аналоговых сигналов в цифровые, отображающим выборки, которые могут принимать значения из непрерывного диапазона, в конечный набор дискретных уровней.

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

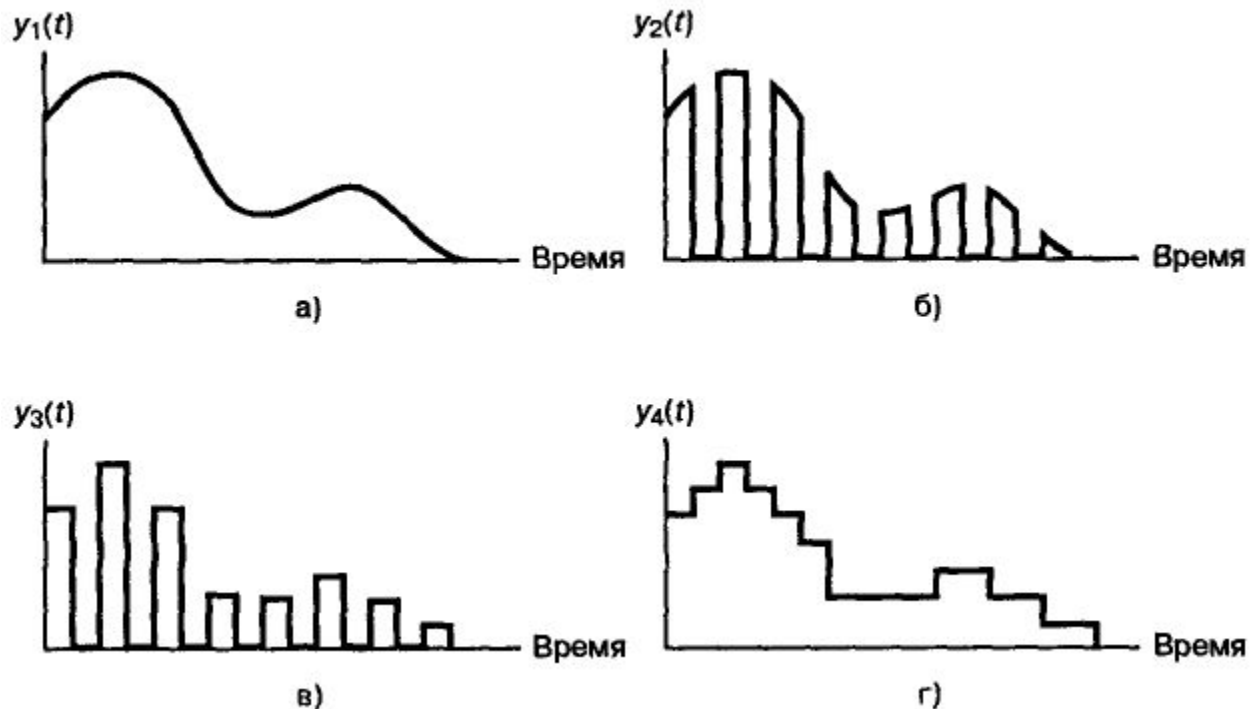
Зачем нужна выборка с запасом.

выборка с запасом:

1. Сигнал пропускается через менее производительный аналоговый фильтр нижних частот для ограничения его полосы
2. Отфильтрованный сигнал дискретизируется с частотой выше частоты Найквиста с целью создания сигнала с приблизительно ограниченной полосой.
3. Выборки квантуются устройством преобразования аналоговых сигналов в цифровые, отображающим выборки, которые могут принимать значения из непрерывного диапазона, в конечный набор дискретных уровней.
4. Цифровые выборки обрабатываются высокопроизводительным цифровым фильтром для сужения полосы цифровых выборок.
5. Частота дискретизации на выходе цифрового фильтра уменьшается пропорционально сужению полосы.

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Процесс дискретизации и квантования.



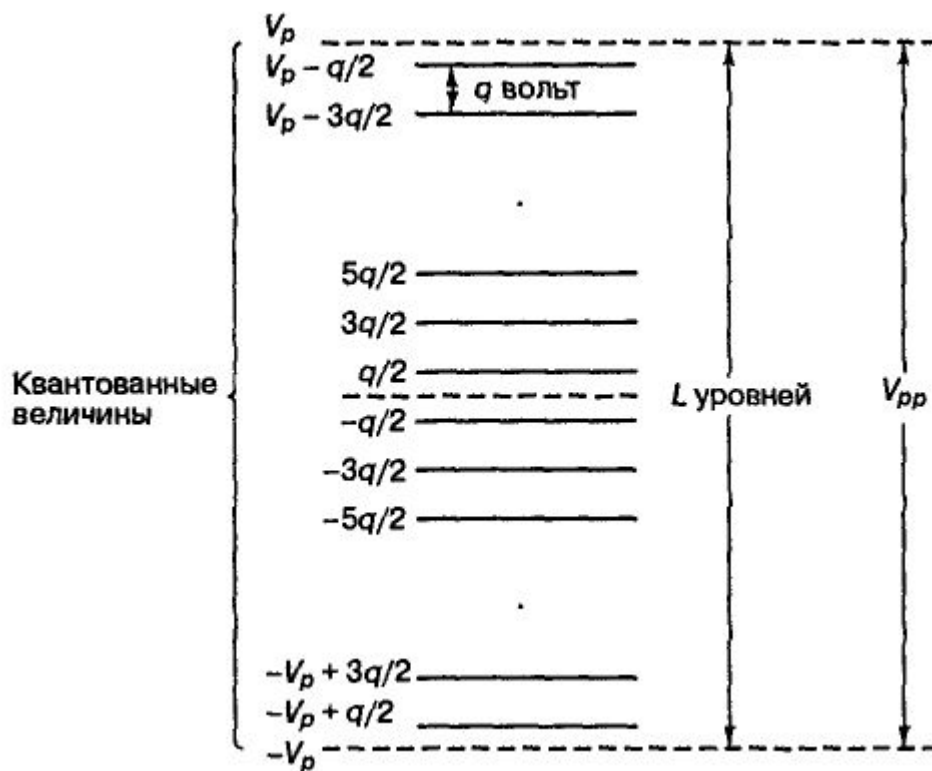
II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Влияние дискретизации и квантования.

1. Ошибка округления на уровнях квантования
2. Насыщение (переполнение).
3. Смещение положения выборки.

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Отношение сигнал/шум для квантованных импульсов.



$$\sigma^2 = \int_{-q/2}^{+q/2} e^2 p(e) de = \quad (1)$$

$$= \int_{-q/2}^{+q/2} e^2 \frac{1}{q} de = \frac{q^2}{12}$$

$$V_p^2 = \left(\frac{V_{pp}}{2} \right)^2 = \left(\frac{q(L-1)}{2} \right)^2 = \frac{L^2 q^2}{4} \quad (2)$$

$$\left(\frac{S}{N} \right)_q = \frac{L^2 q^2 / 4}{q^2 / 12} = 3L^2 \quad (3)$$

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Воздействие канала.

1. Шум канала: тепловой шум, помехи пользователей и «железа»
2. Межсимвольная интерференция
3. Смещение положения выборки.

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Коэффициент шума.

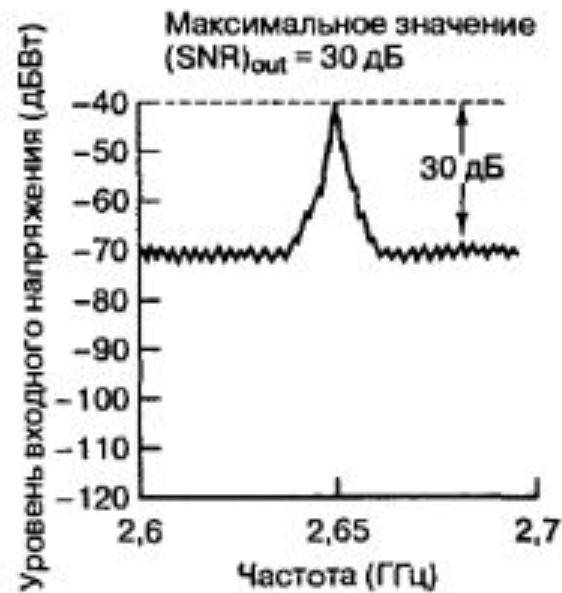
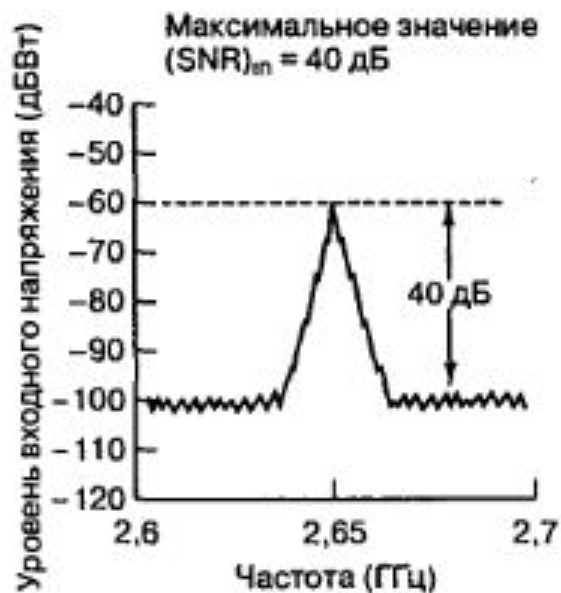
$$F = \frac{(\text{SNR})_{\text{in}}}{(\text{SNR})_{\text{out}}} = \frac{S_i / N_i}{G S_i / G (N_i + N_{oi})}$$

S_i — мощность сигнала во входном порту усилителя

N_i — мощность шума во входном порту усилителя

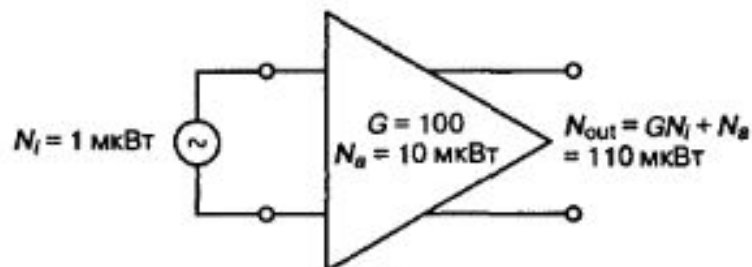
N_{oi} — шум усилителя относительно входного порта

G — коэффициент усиления усилителя



II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Коэффициент шума.



а)



б)

$$F = \frac{N_i + N_{ш1}}{N_i} = 1 + \frac{N_{ш1}}{N_i} \quad (1)$$

$$N_0 = \kappa T_0^{\circ} = 1,38 \times 10^{-23} \times 290 = 4,00 \times 10^{-21} \text{ Вт/Гц}$$

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Шумовая температура.

$$N_{at} = (F - 1)N_r \quad N = \kappa T^\circ W \text{ Ватт.} \quad (1)$$

$$\kappa T_R^\circ W = (F - 1)\kappa T_0^\circ W$$

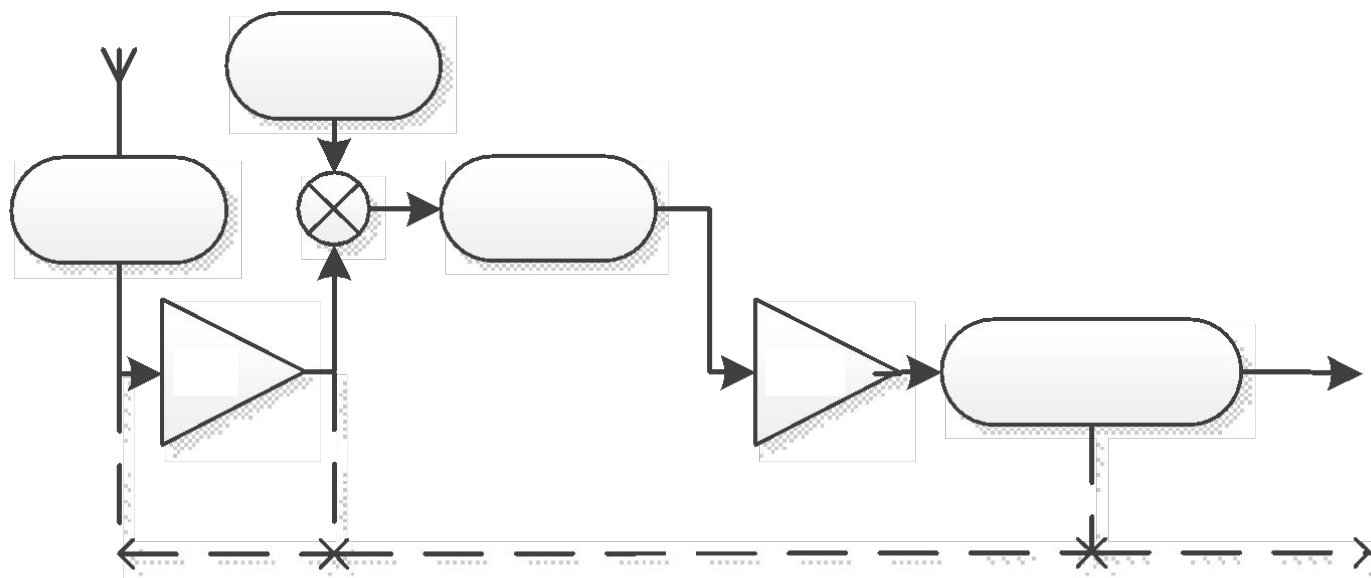
$$T_R^\circ = (F - 1) T_0^\circ.$$

$$T_R^\circ = (F - 1) 290 \text{ К.} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} N_{out} &= GN_i + Gn_{at} = \\ &= G\kappa T_g^\circ W + G\kappa T_R^\circ W = G\kappa(T_g^\circ + T_R^\circ)W = \\ &= G\kappa T_g^\circ W + (F - 1)G\kappa T_0^\circ W, \end{aligned} \quad (3)$$

II. Основные теоретические вопросы проектирования ПОР.

Пример схемы аналогового тракта с прямым переносом.





Московский Авиационный
(Национальный Исследовательский
Институт
Университет)

Спасибо за внимание.