

Институт проблем управления РАН

# Ортохаотическая передача данных

В.С. Выхованец, Лю Вэнькуй

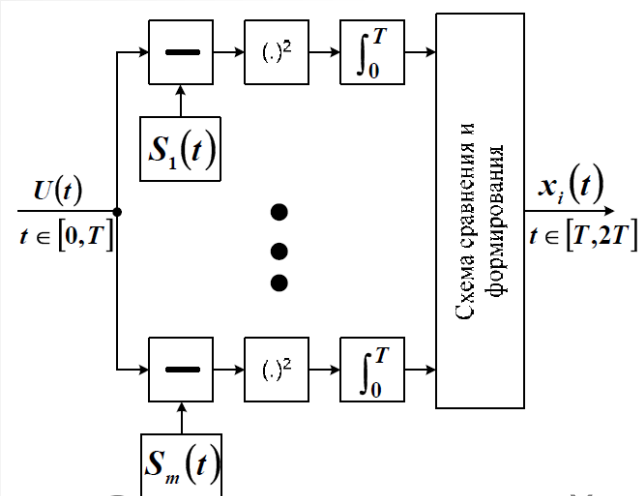
Всероссийское совещание по проблемам  
управления

18 июня 2014 г.

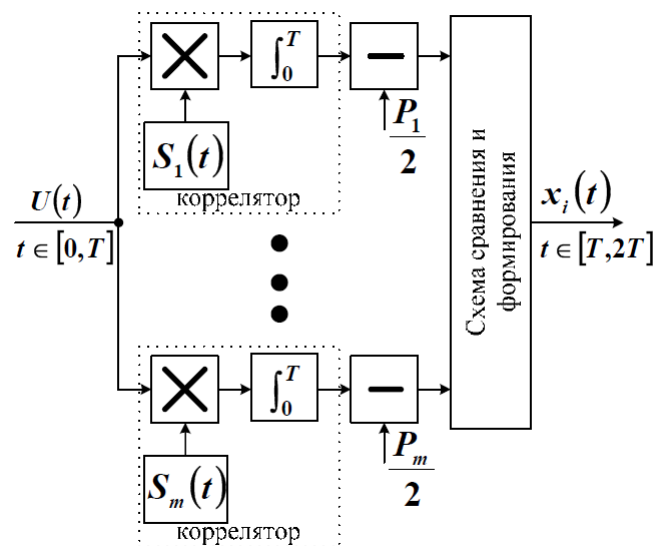
# Методы

# оптимального приема

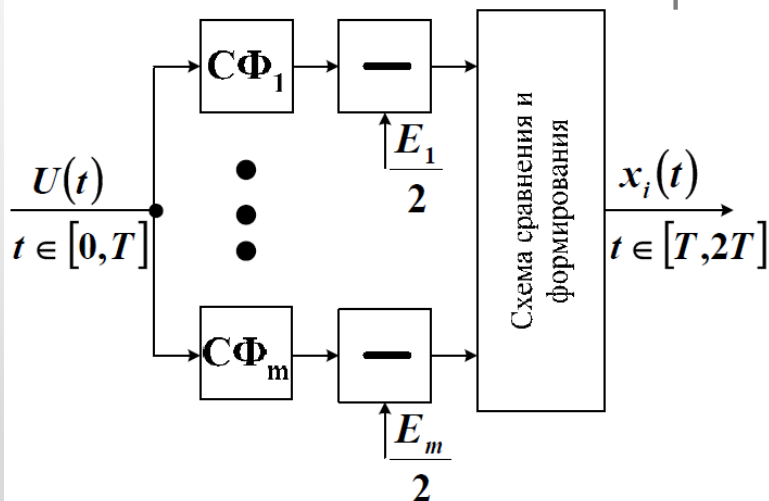
Квадратурный



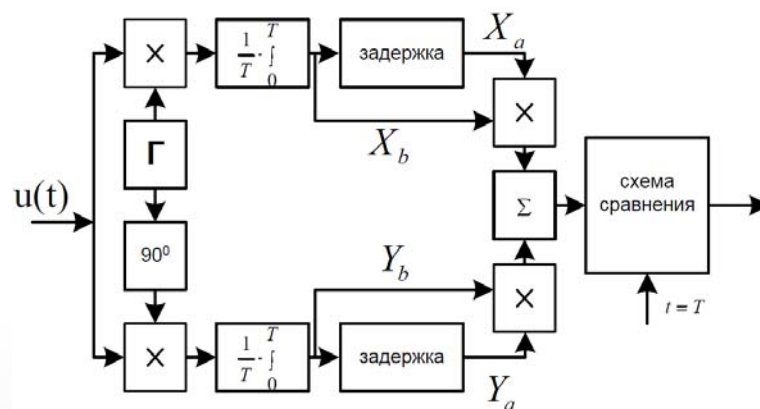
Взаимнокорреляционный



Согласованный фильтр

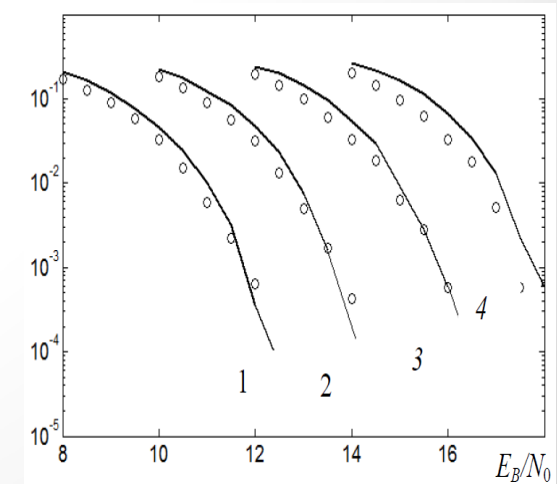
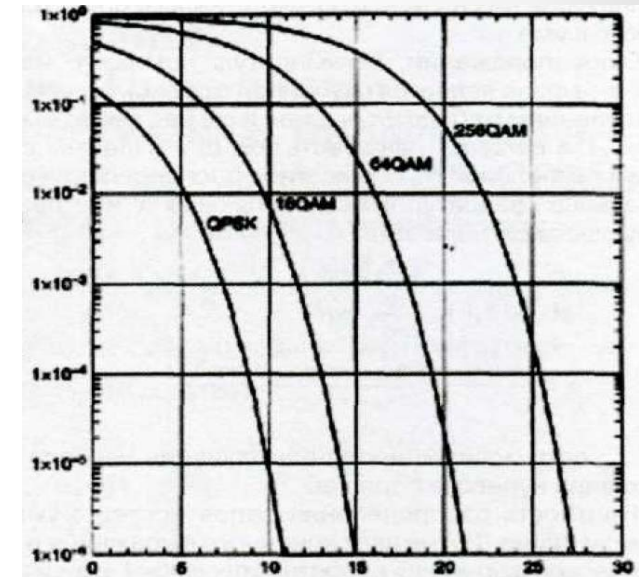


Автокорреляционный

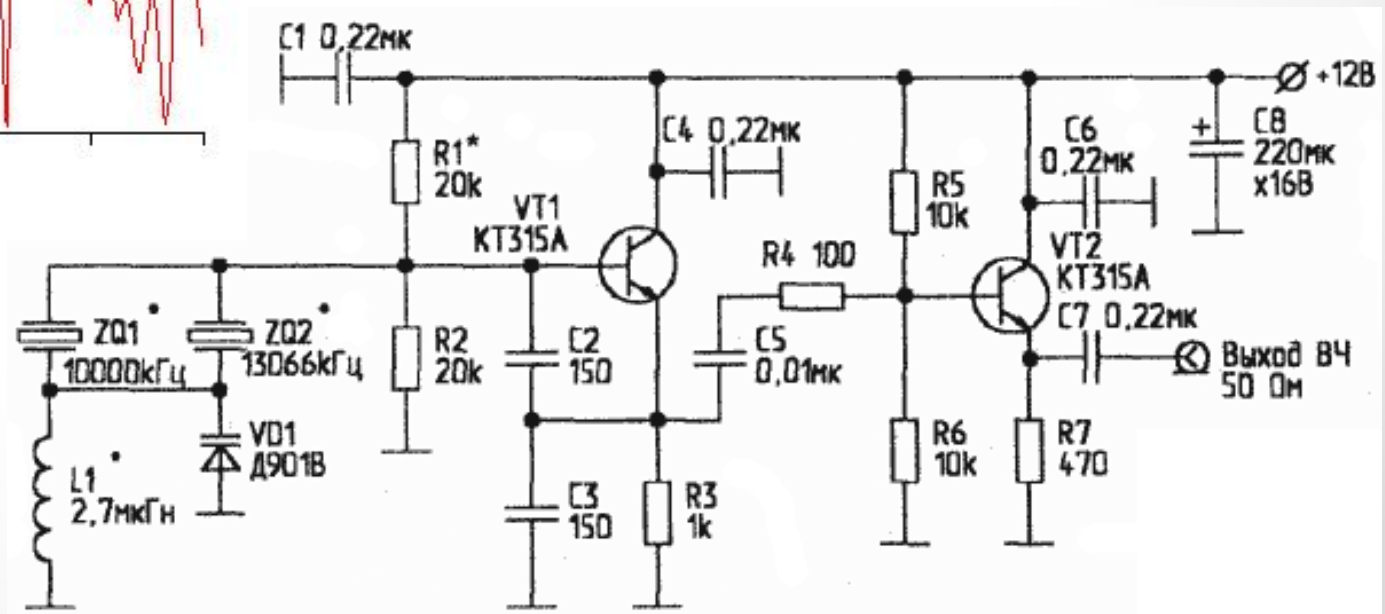
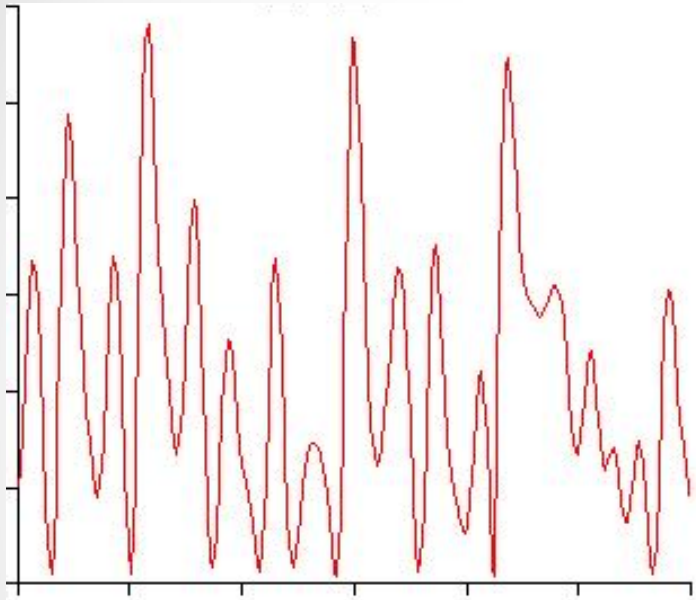


# Широкополосные шумоподобные сигналы

- База сигнала
  - $B = \Delta F \Delta T \gg 1$
- Достоинства:
  - Высокая помехоустойчивость
  - Повышенная скрытность
  - Эффективное использование полосы частот
  - Электромагнитная совместимость
  - Оптимальный прием
- Сигналы
  - Баркера (длина 3, 4, 5, 7, 11 и 13)
  - M-последовательности (плохая корреляция)
  - Хаотические сигналы (трудности синхронизации)
- Критерий
  - вероятности ошибочного приема одного бита от отношения энергии сигнала к спектральной плотности шума

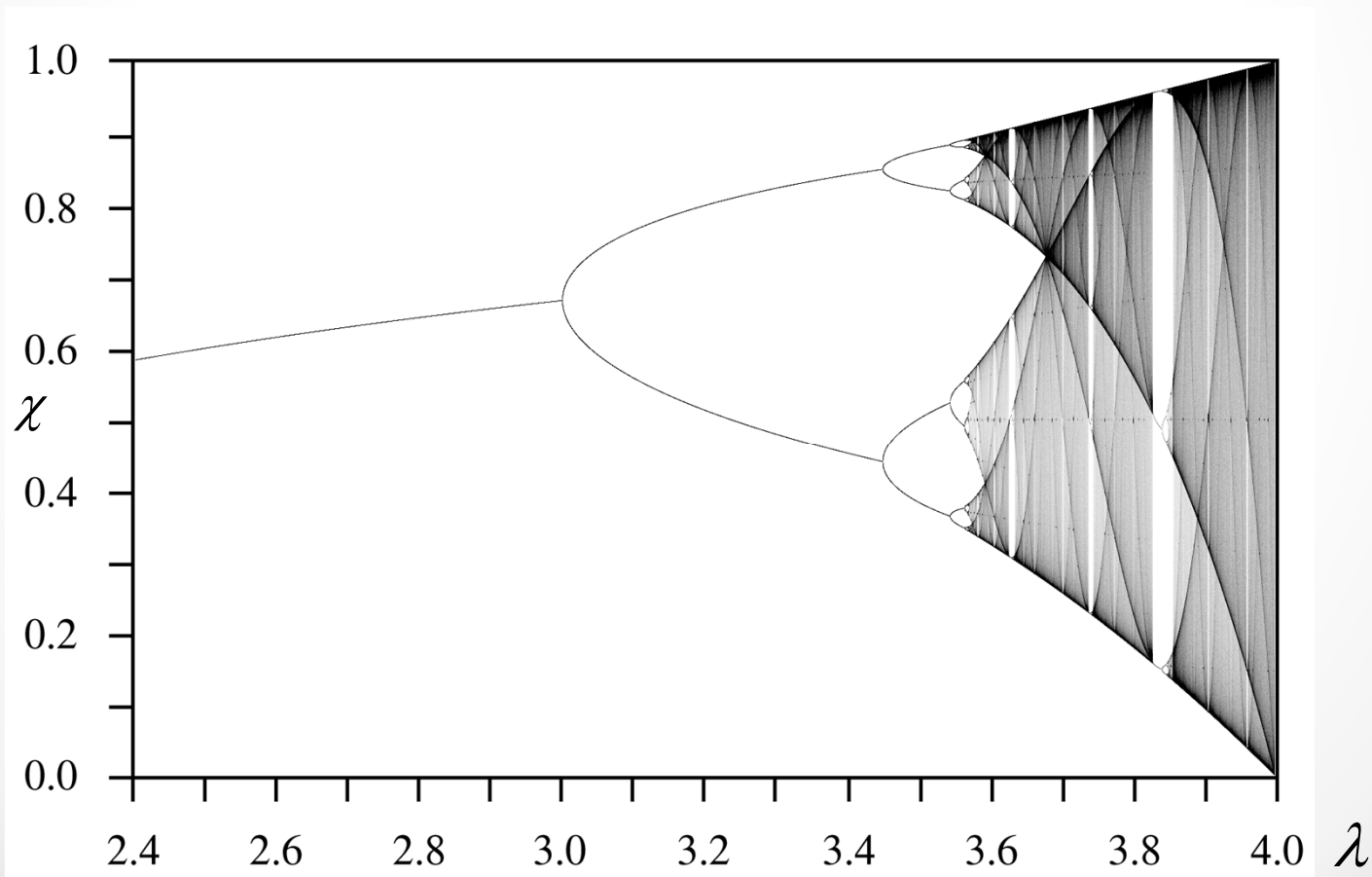


# Генератор хаотического сигнала



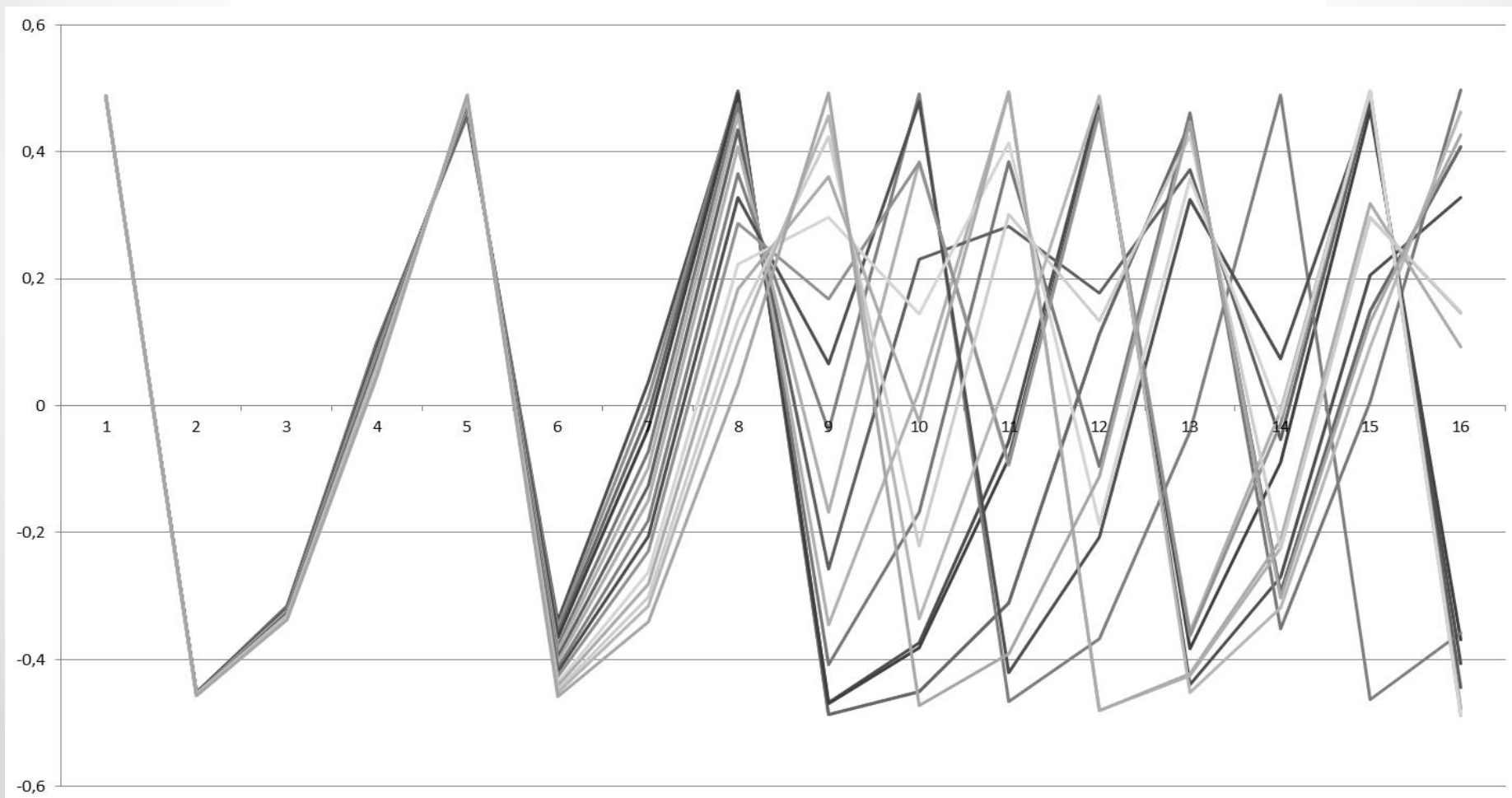
# Логистическое отображение

$$\chi(t+1) = \lambda\chi(t)(1 - \chi(t))$$



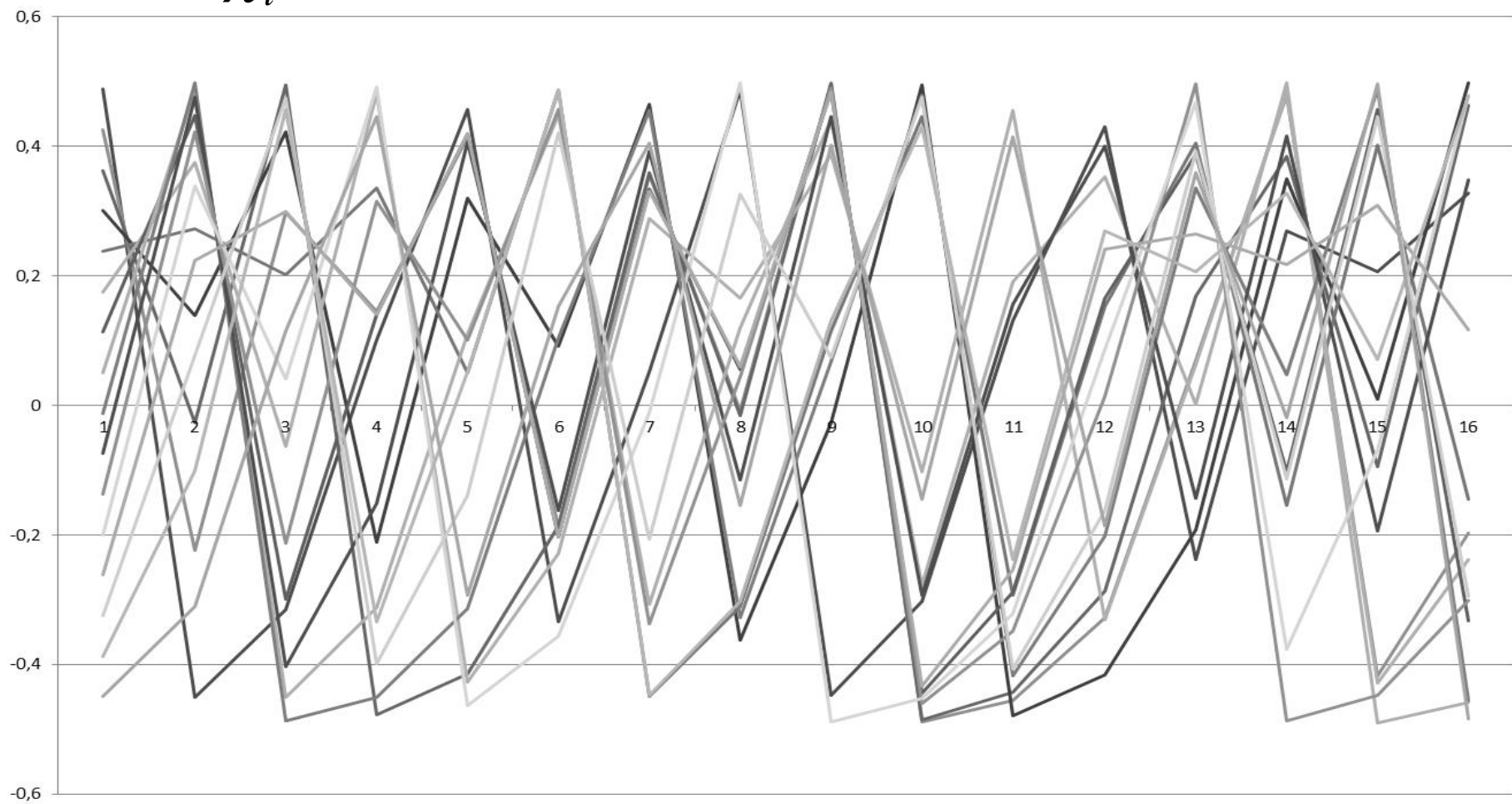
# Близкие начальные условия

$$\chi_i(0) = 0,987654321 + i/10000, \quad \lambda = 3,99$$



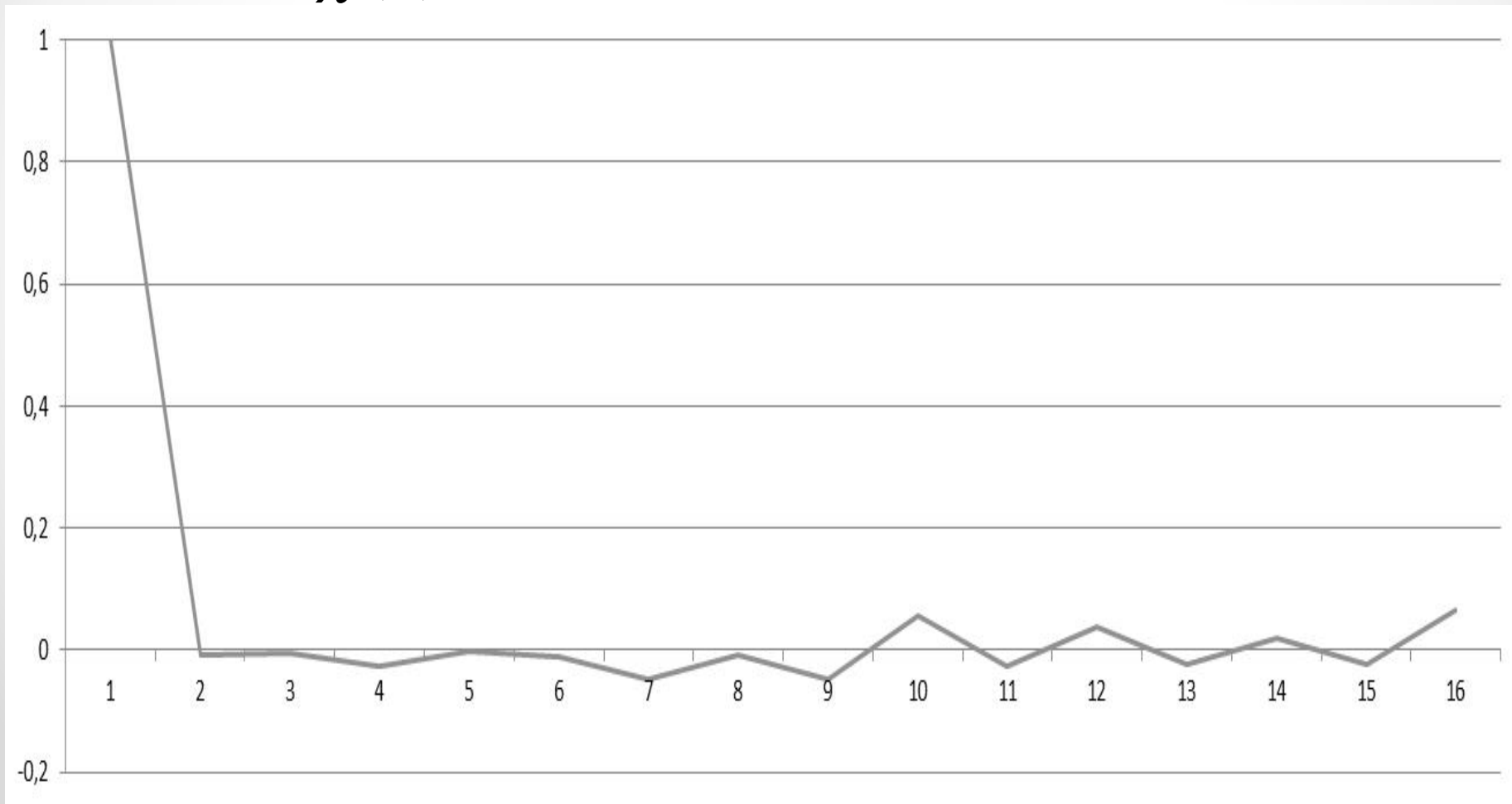
# Различные начальные условия

$$\chi_i(0) = 0,987654321 - i/16, \quad \lambda = 3,99$$



# Автокорреляционная функция

$$\chi(0) = 0,987654321, \quad \lambda = 3,99$$





# Векторное пространство сигналов

Дискретные (непрерывные) сигналы

$$x_i(t) \quad i = \overline{0, N-1} \quad t = \overline{0, N-1} \quad (t \in [0, T])$$

Сумма сигналов

$$z = x + y \quad z(t) = x(t) + y(t)$$

Масштабирование сигналов

$$z = \alpha x \quad z(t) = \alpha \times x(t)$$

Скалярное произведение сигналов

$$(x, y) = \sum_{t=0}^{N-1} x(t) \times y(t) \quad (x, y) = \int_0^T x(t) \times y(t) dt$$

Норма сигналов

- $\|x\| = \sqrt{(x, x)}$

# Ортогонализация и нормирование сигналов

Ортогонализация сигналов Грамма-Шмидта

$$\gamma_i = \chi_i - \sum_{j=0}^{i-1} \frac{(\chi_i, \chi_j)}{(\chi_j, \chi_j)} \chi_j \quad i, j = \overline{0, N-1}$$

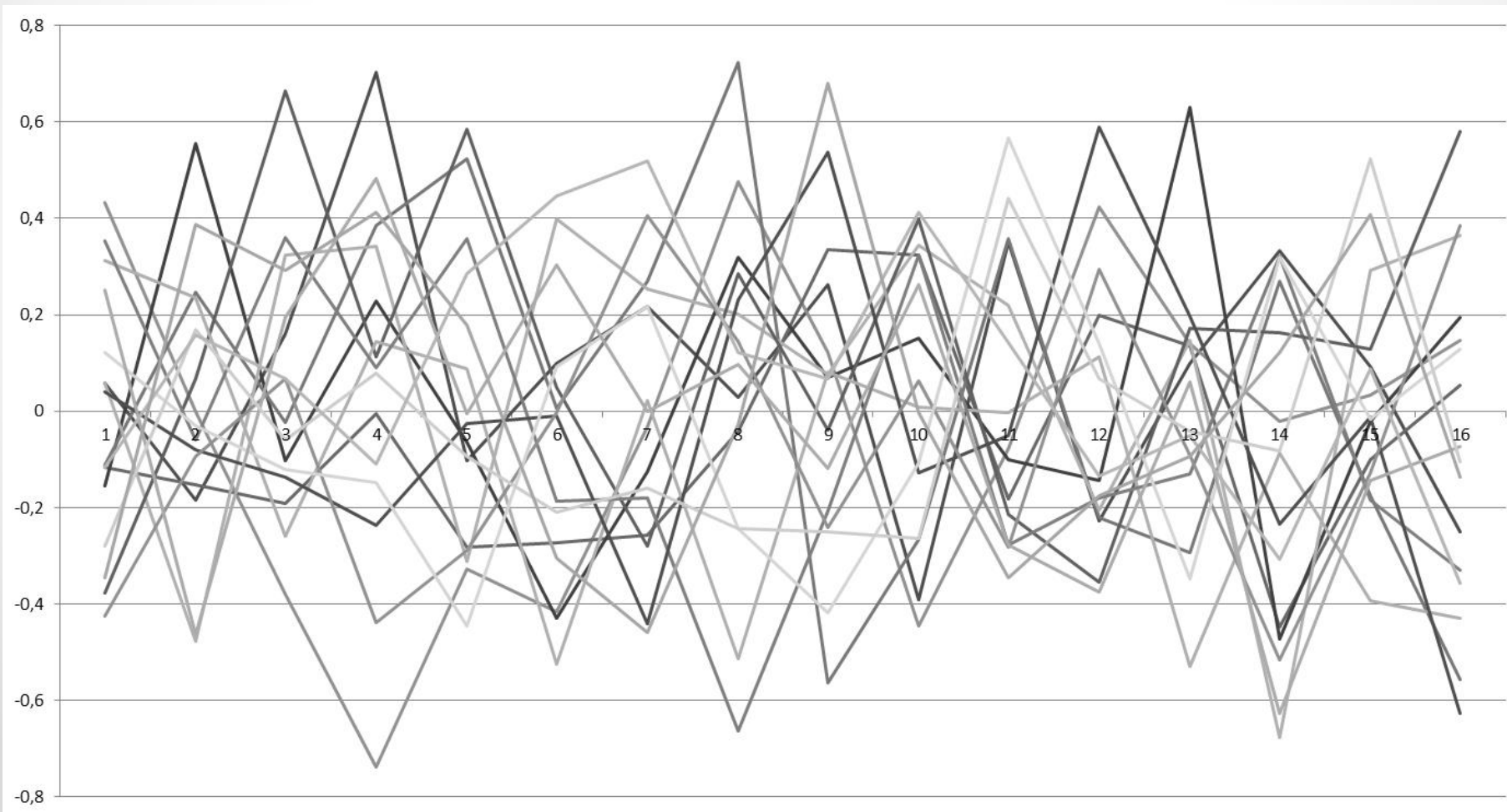
Нормирование сигналов

$$\varphi_i = \frac{1}{\|\gamma_i\|} \gamma_i$$

Ортонормированные сигналы

$$(\varphi_i, \varphi_j) = \delta_{ij} \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 0, & i \neq j; \\ 1, & i = j. \end{cases}$$

# Ортогональные хаотические сигналы



# Ортогональная передача

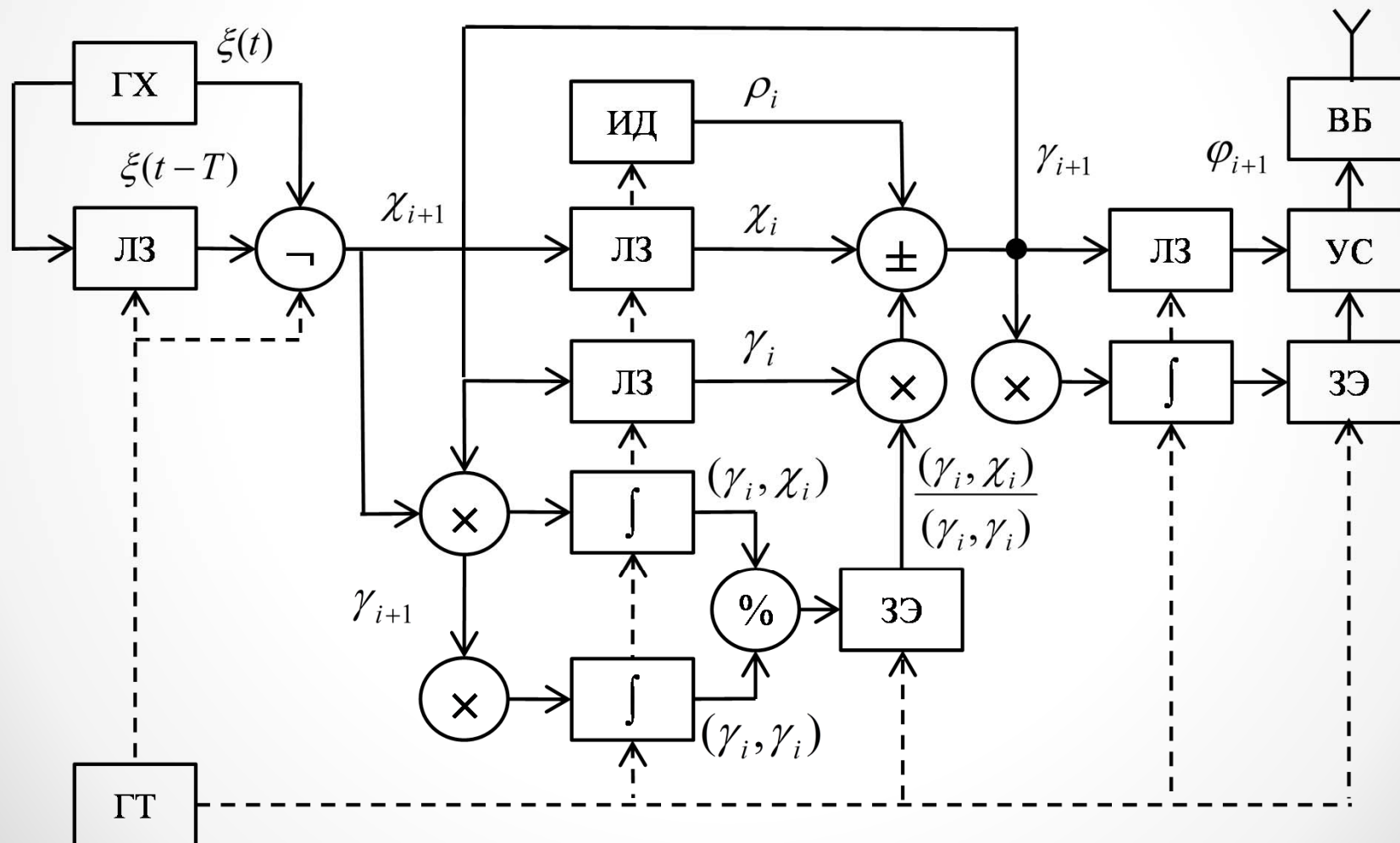
$$\rho_i \in \{-1, 1\} \quad i = \overline{1, D}$$

$$\begin{cases} \gamma_0 = 0; \\ \rho_0 = 0, \end{cases} \begin{cases} \gamma_{i+1} = \chi_i + \rho_i \times \frac{(\chi_i, \gamma_i)}{(\gamma_i, \gamma_i)} \gamma_i, \\ \varphi_{i+1} = \frac{1}{\sqrt{(\gamma_{i+1}, \gamma_{i+1})}} \gamma_{i+1}. \end{cases}$$

$$\alpha \times (\varphi_{i+1}, \varphi_i) = (\chi_i, \gamma_i) + \rho_i \times (\chi_i, \gamma_i)$$

$$\alpha = \sqrt{(\gamma_{i+1}, \gamma_{i+1}) \times (\gamma_i, \gamma_i)}$$

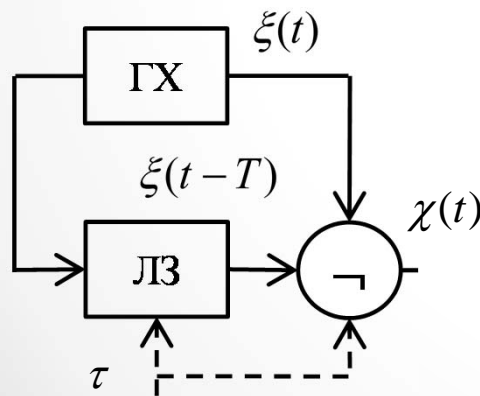
# Ортогональный передатчик



# Формирование синхросигнала

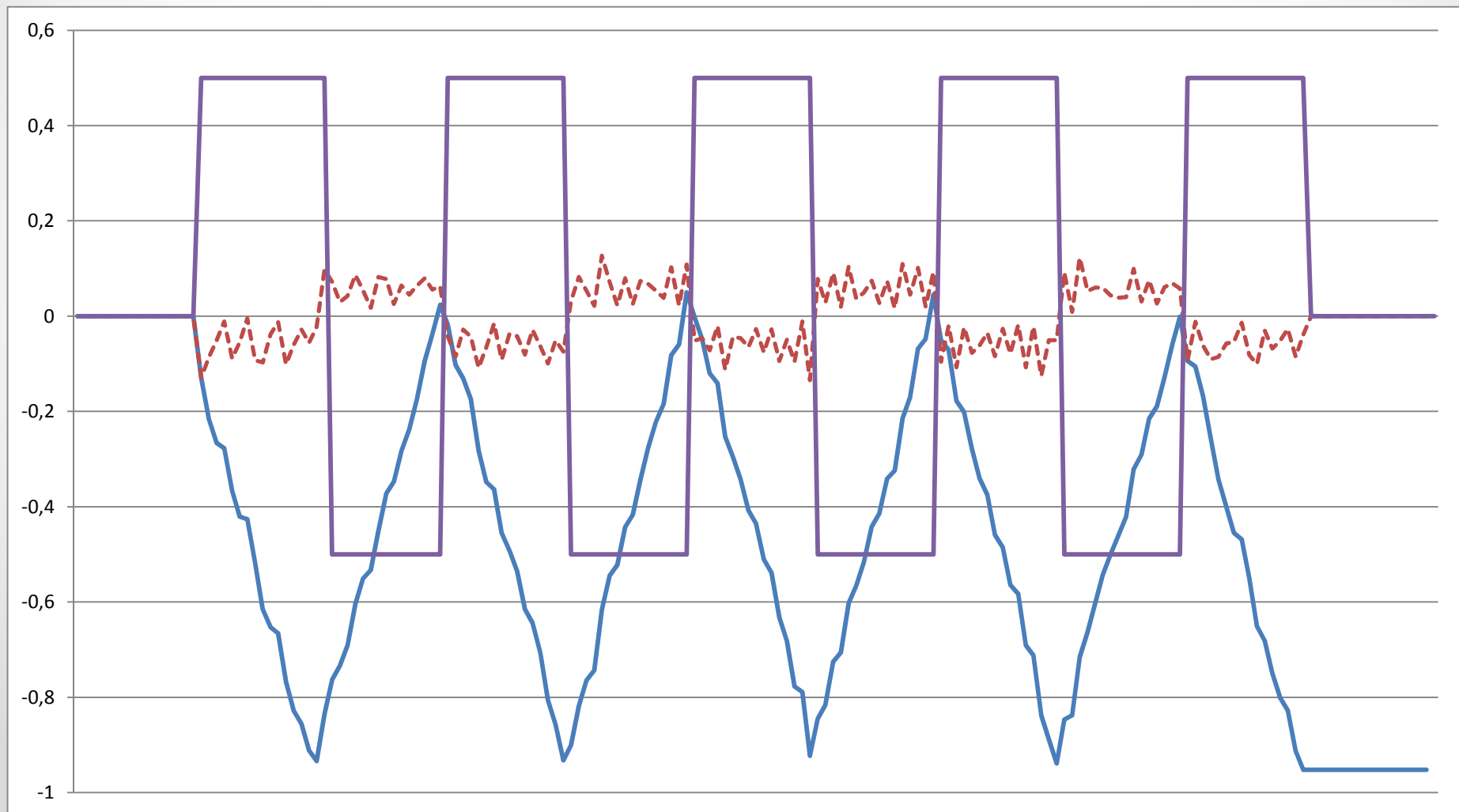
$$\chi(t) = \sigma_{\pm} \times \xi(t) \quad t = \{0, 1, 2, \dots\} \quad (t \in [0, \infty))$$

$$\sigma_{\pm} = \begin{cases} -\sigma, & \tau < 0; \\ +\sigma, & \tau > 0. \end{cases}$$

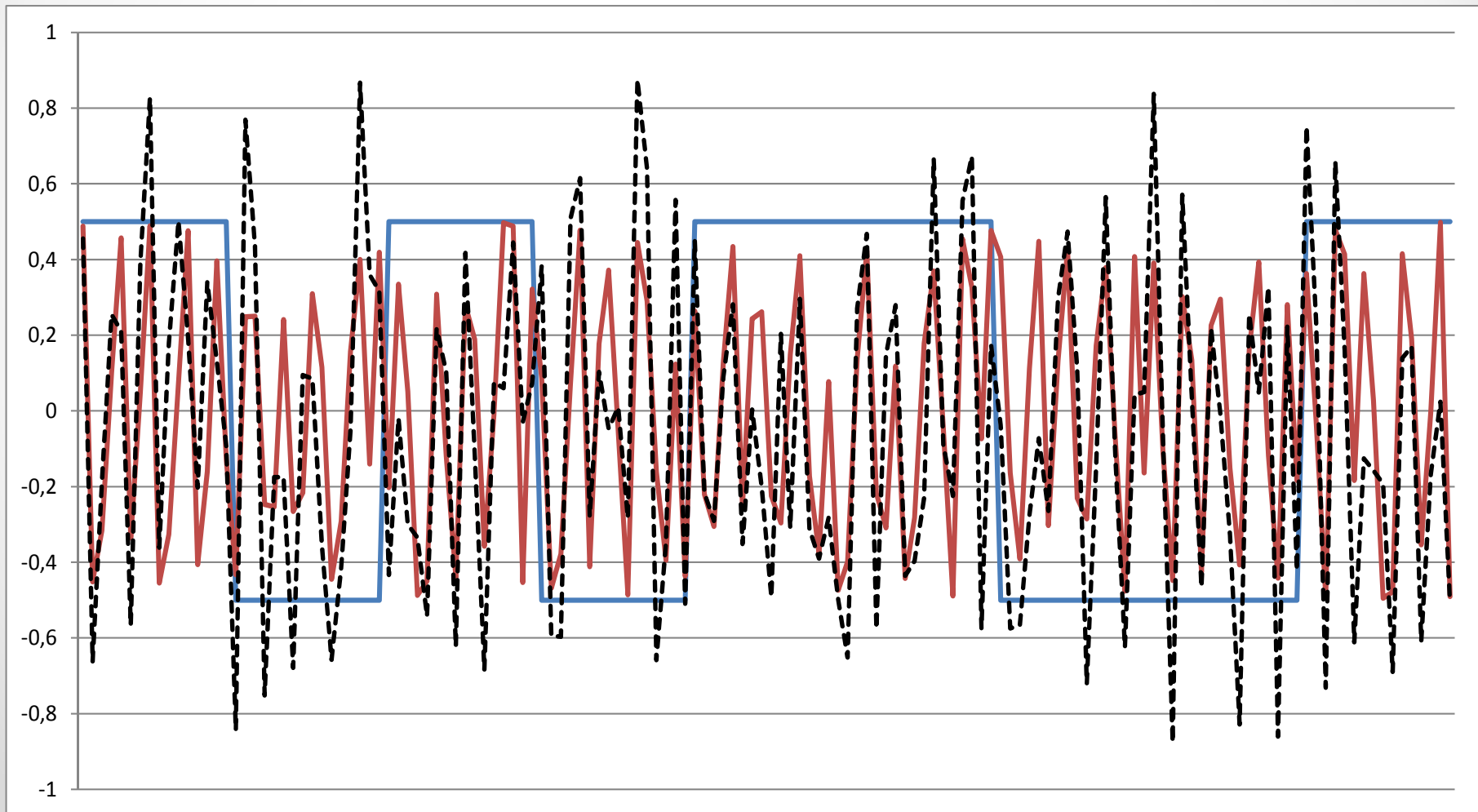


$$\sigma = \begin{cases} -1, & \xi(t) \times \xi(t-T) < 0; \\ +1, & \xi(t) \times \xi(t-T) \geq 0. \end{cases}$$

# Взаимная энергия хаотического сигнала



# Хаотический сигнал в канале связи





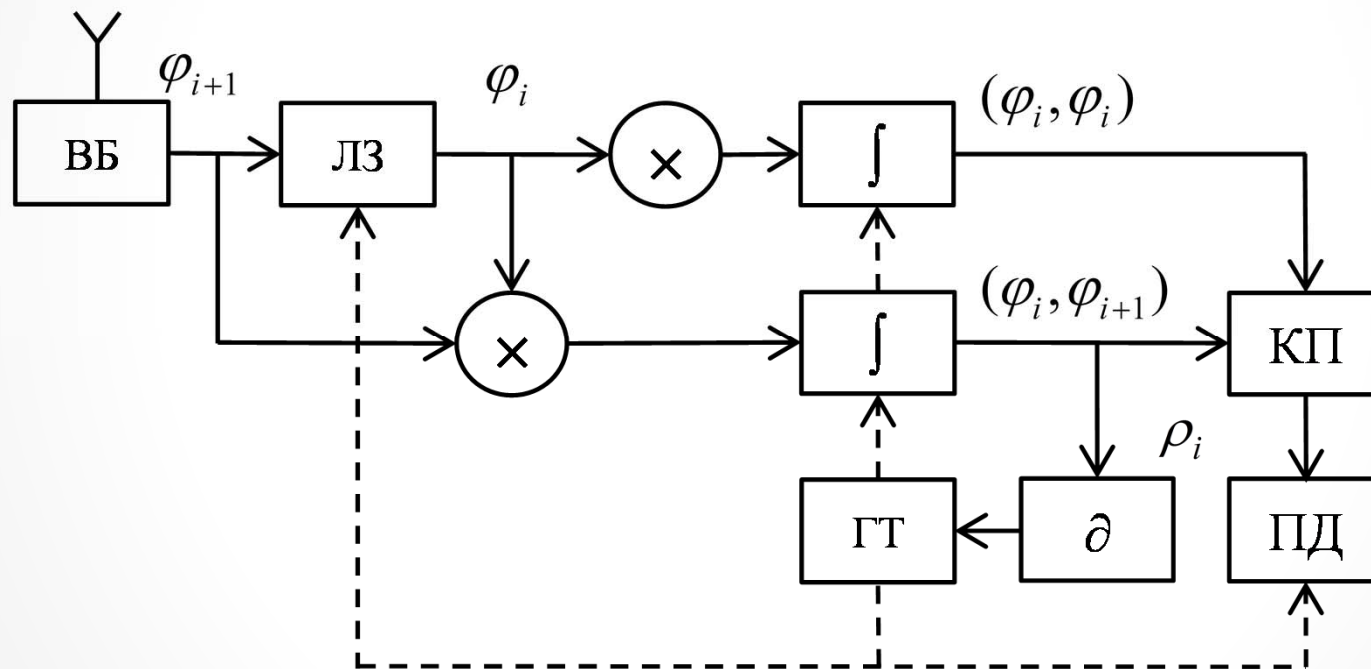
# Ортохаотический прием

$$\rho_i = \begin{cases} -1, & |(\varphi_i, \varphi_{i+1})| < \varepsilon \times (\varphi_i, \varphi_i); \\ +1, & |(\varphi_i, \varphi_{i+1})| \geq \varepsilon \times (\varphi_i, \varphi_i), \end{cases} \quad i = \overline{1, D}$$

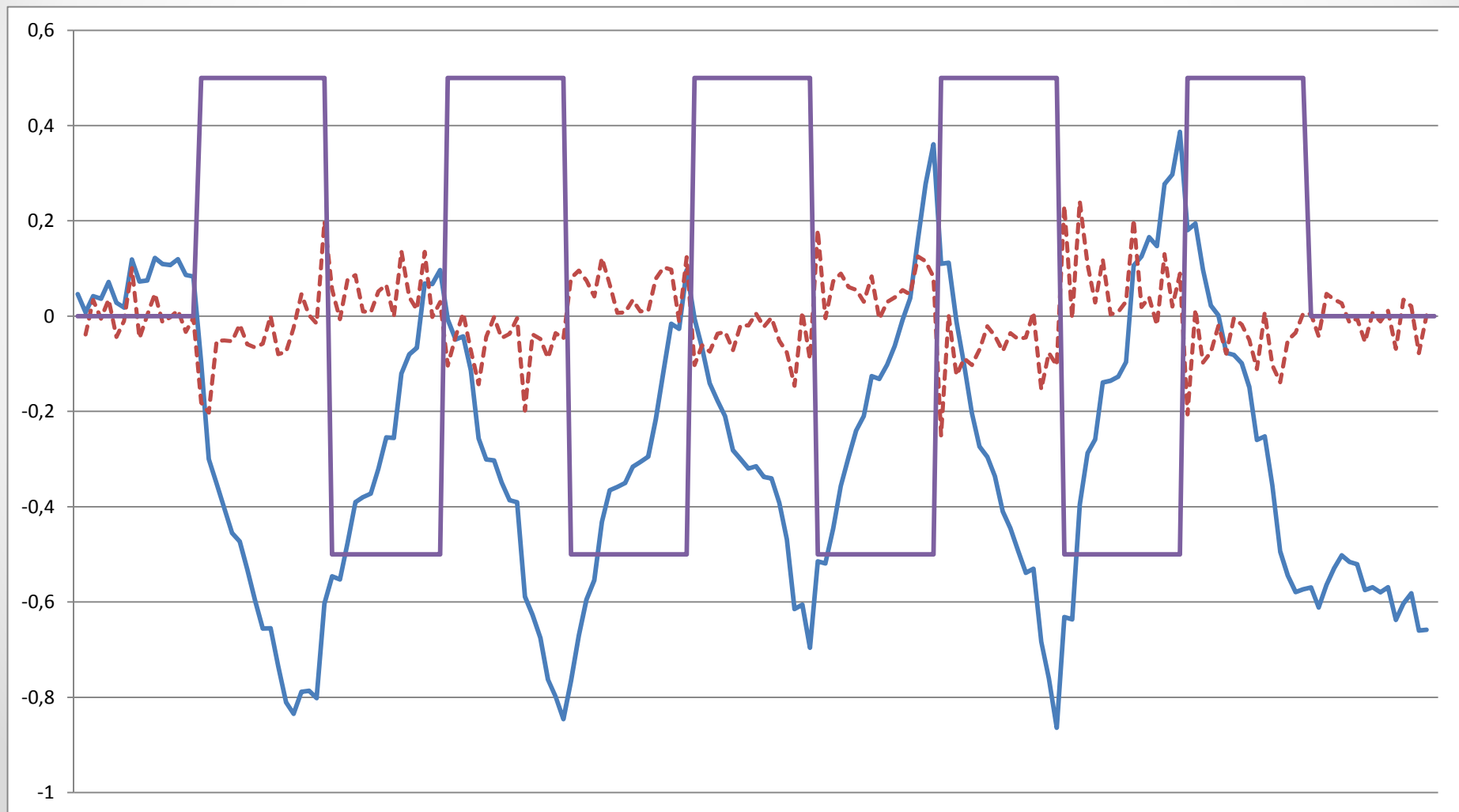
$$\varepsilon = \min_{i=0}^N \frac{|(\chi_i, \chi_{i+1})|}{(\chi_i, \chi_i)}$$

$$t_i : \frac{d}{dt}(\varphi_i, \varphi_{i+1}) > \pm \Delta$$

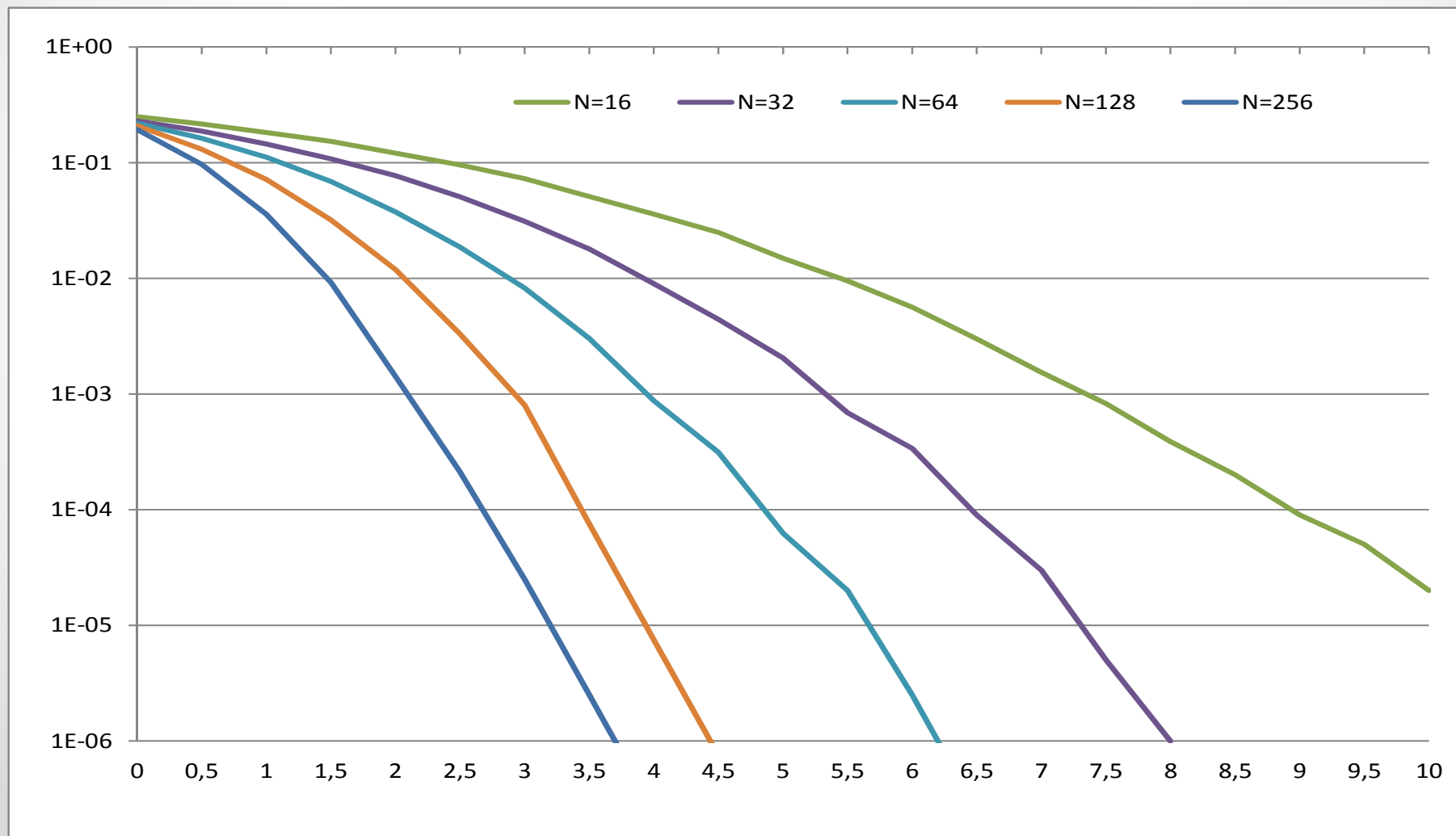
# Ортогональный приемник



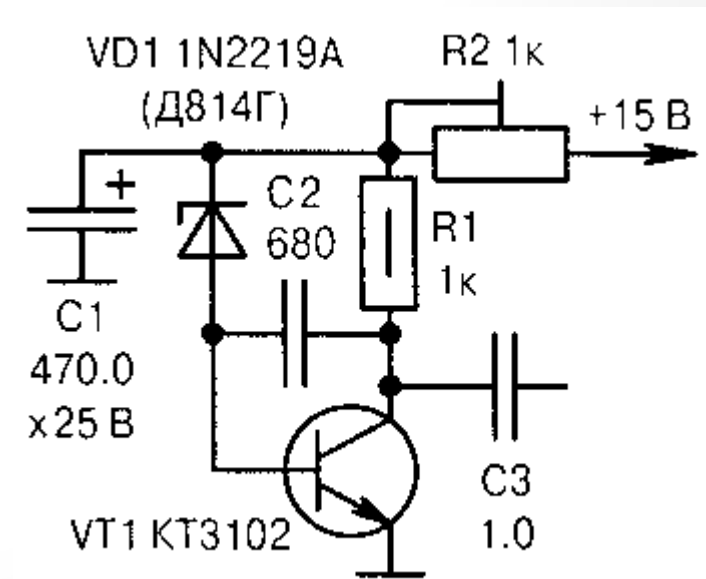
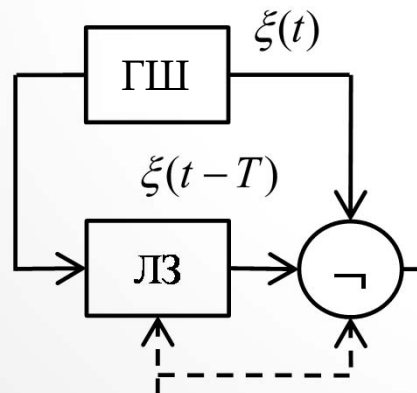
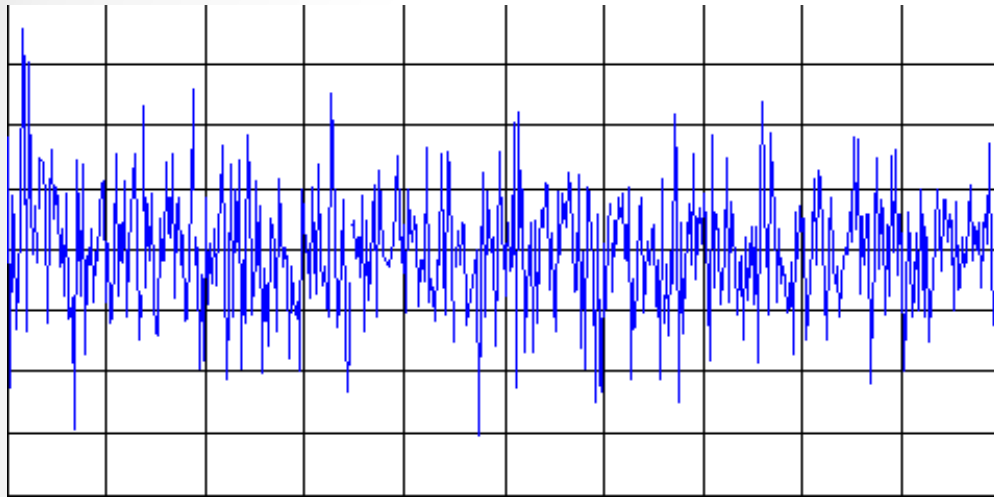
# Выделение тактового сигнала



# Помехоустойчивость ортохаотической связи



# Орточумовая передача данных



# Заключение

- Разработан метод относительного корреляционного приема хаотических сигналов
- Решена проблема синхронизации приемника и передатчика на основе модуляции взаимной энергии несущих импульсов
- Достигнута высокая электромагнитная совместимость с существующими сетями связи
- Получена высокая помехоустойчивость и повышенная скрытность передачи данных
- Показана возможность аналоговой передачи данных реальными шумовыми сигналами

