

**БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени И. КАНТА**

## **РАЗДЕЛ III**

**МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ.  
МОДУЛЯЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ**

**к.т.н. Олег Романович Кивчун**

**Калининград  
2012**

# ЛЕКЦИЯ № 17

## ШУМОПОДОБНЫЕ СИГНАЛЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

1. Использование в качестве переносчика информации функций Уолша.
2. Характеристика шумоподобных сигналов.
3. Способы формирования шумоподобных сигналов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### Основная:

1. Теория электрической связи: Учеб. Для вузов / А.Г. Зюко, Д. Д. Кловский, В.И. Коржик, М. В. Назаров; Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1998. – 433 с.

#### Дополнительная:

1. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Бернارد Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Сухоруков А.С. Теория электрической связи: Конспект лекций. Часть 1. – М.: МТУСИ, ЦЕНТР ДО, 2002. – 65 с.

# **1. Использование в качестве переносчика информации функций Уолша**

# СИСТЕМА ФУНКЦИЙ УОЛША

СИСТЕМА ФУНКЦИЙ УОЛША – это полная ортогональная система на интервале  $[-1/2, +1/2]$  или  $[0, 1]$ . Функции Уолша не имеют хороших корреляционных свойств, но обладают свойством ортогональности, что и определяет их практическое применение.

Функции Уолша обычно задаются через функцию Радемахера ( $\text{rad}(m, t)$ ):

$$r_i(x) = \text{sign}[\sin(2^i \cdot \pi \cdot x)], \quad 0 \leq x < 1$$

$x = t / T$  – безразмерное время;  $T$  – период функции;  $i = 0, 1, 2, \dots$  – порядок.

Функция знака  $\text{sign}(y)$  имеет постоянную величину, равную «1», знак которой определяется знаком аргумента «у».

Система функций Уолша  $\text{wal}_j(x)$  (Уолша – Walsh –  $\text{wal}(n, Q)$ ) образуется следующим образом:

1. По определению вводится функция  $\text{wal}_0(x) = 1$  при  $j = 0$ .
2. Для получения функции  $\text{wal}_j(x)$  при  $j > 0$  необходимо  $j$  записать в двоичной форме:

$$\text{wal}_j(x) = r_{\gamma_1+1}(x) \cdot r_{\gamma_2+1}(x) \cdot \dots \cdot r_{\gamma_n+1}(x), \quad \begin{aligned} &\gamma_1 < \gamma_2 < \dots < \gamma_p, \\ &j = 2^{\gamma_1} + 2^{\gamma_2} + \dots + 2^{\gamma_n}. \end{aligned}$$

# ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ УОЛША (СЛАЙД 1)

ПРИМЕР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУНКЦИИ УОЛША:

- 1)  $j = 0 \rightarrow \text{wal}_0(x) = 1$ ;    4)  $j = 3 \rightarrow 2^0 + 2^1 \text{wal}_{j=3} = r_1 r_2$ ;  
 2)  $j = 1 \rightarrow 2^0 \text{wal}_{j=1} = r_1, (0 + 1)$ ;    5)  $j = 4 \rightarrow 2^2 \text{wal}_{j=4} = r_3$ ;  
 3)  $j = 2 \rightarrow 2^1 \text{wal}_{j=2} = r_2, (1 + 1)$ ;    6)  $j = 5 \rightarrow 2^0 + 2^2 \text{wal}_{j=5} = r_1 r_3$  ИТ.Д.

В общем случае выбор ортогональных кодов связан с матрицами Адамара:

$$A_{2N} = \begin{vmatrix} A'_N & A_N \\ A'_N & A_N \end{vmatrix},$$

$A_N$  – матрица Адамара порядка  $N$ ;

$N$  – число равно числу столбцов;

$A_{2N}$  – матрица Адамара порядка  $2N$ .

**МАТРИЦА АДАМАРА** – это квадратная матрица размера  $n \times n$ , составленная из чисел «1» и «-1», столбцы которой ортогональны, так что справедливо соотношение  $H^T \cdot H = n \cdot E_n$ .

# ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ УОЛША (СЛАЙД 2)

Пример:  $A_1 = 1$ .

$$A_2 = \begin{vmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{vmatrix};$$

$$A_4 = \begin{vmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \end{vmatrix};$$

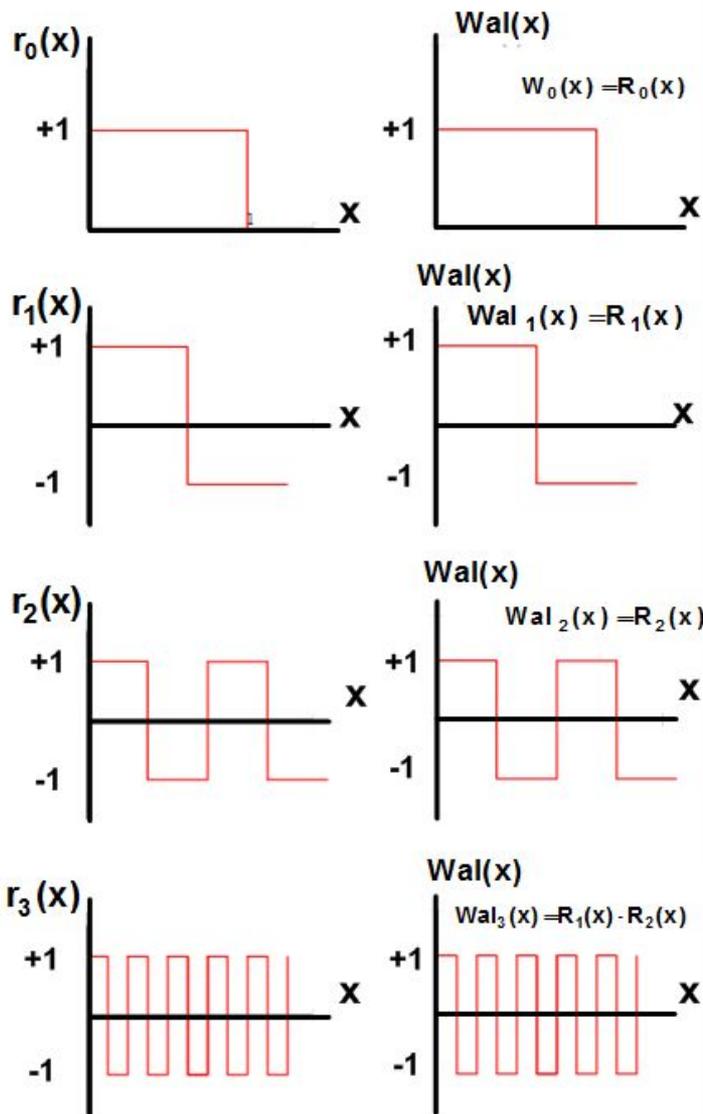
$$A_8 = \begin{vmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \end{vmatrix}$$

Упорядочим  
знакоизменение:

$$\left. \begin{array}{cccccccc} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 \end{array} \right\}$$

т.е. функции Уолша можно задавать через матрицы Адамара.

# ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ УОЛША (СЛАЙД 3)



Как доказать ортогональность  $wal_2(x)$  и  $wal_3(x)$ ?

$$1 \cdot 1 + (-1) \cdot (-1) + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 = 1 + 1 - 1 - 1 = 0$$

т.е. сигналы (коды) не пересекаются.

## МУЛЬТИПЛИКАТИВНОСТЬ

Произведение двух функций Уолша даёт функцию Уолша.

$$Wal(n, \theta) \cdot Wal(k, \Theta) = Wal(i, \Theta),$$

$i = n \oplus k$  – сложение по модулю 2 номеров в двоичной системе.

ПРИМЕР. Допустим, что  $n = 1$ ,  $k = 3$ . Тогда,

$$n \oplus k = 01_2 \oplus 11_2 = 10_2 = 2$$

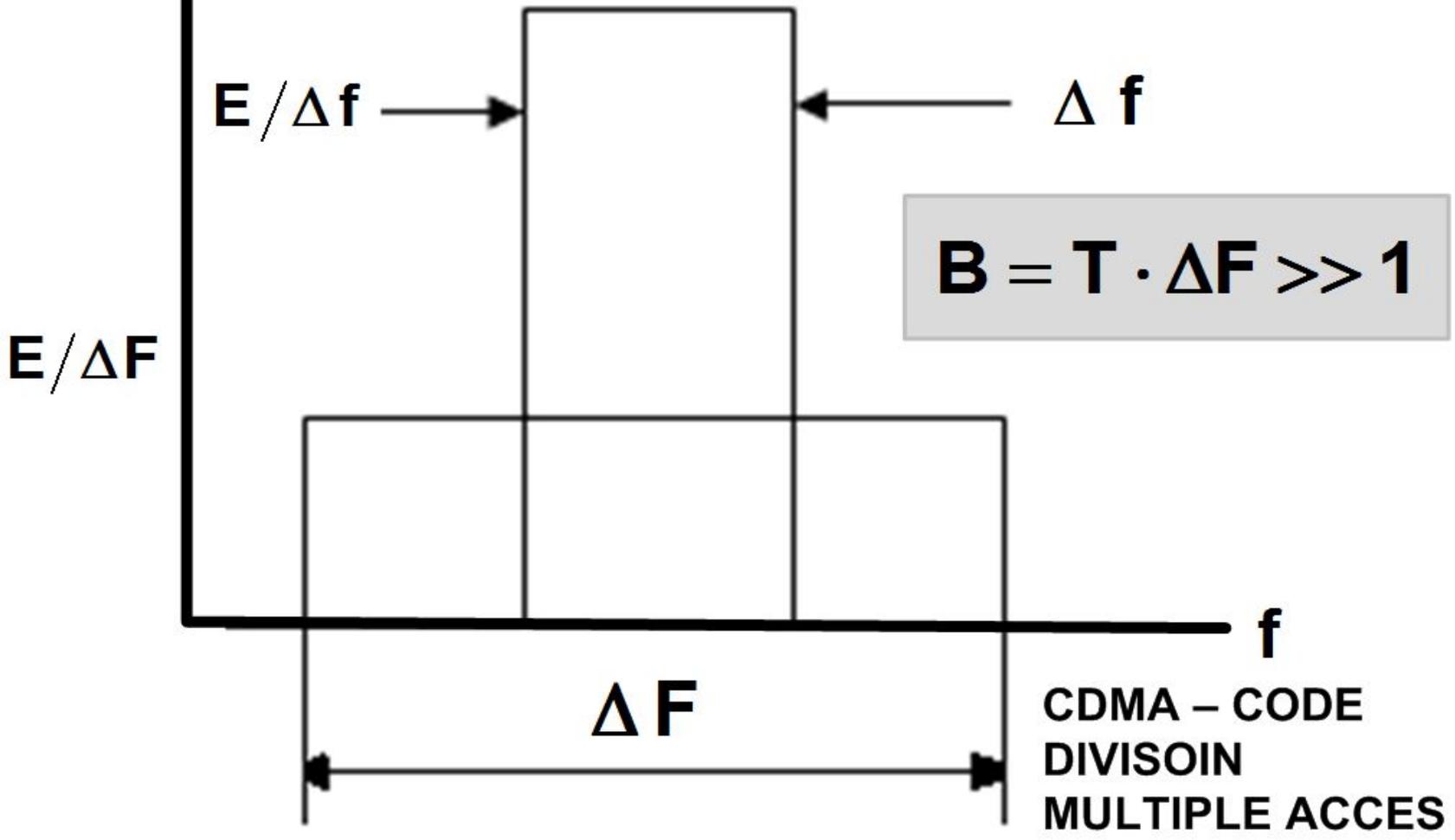
	$n$			
1	1	-1	-1	$wal(1, \theta)$
1	-1	1	-1	$wal(3, \theta)$
1	-1	-1	1	$wal(2, \theta)$

## **2. Характеристика шумоподобных сигналов**

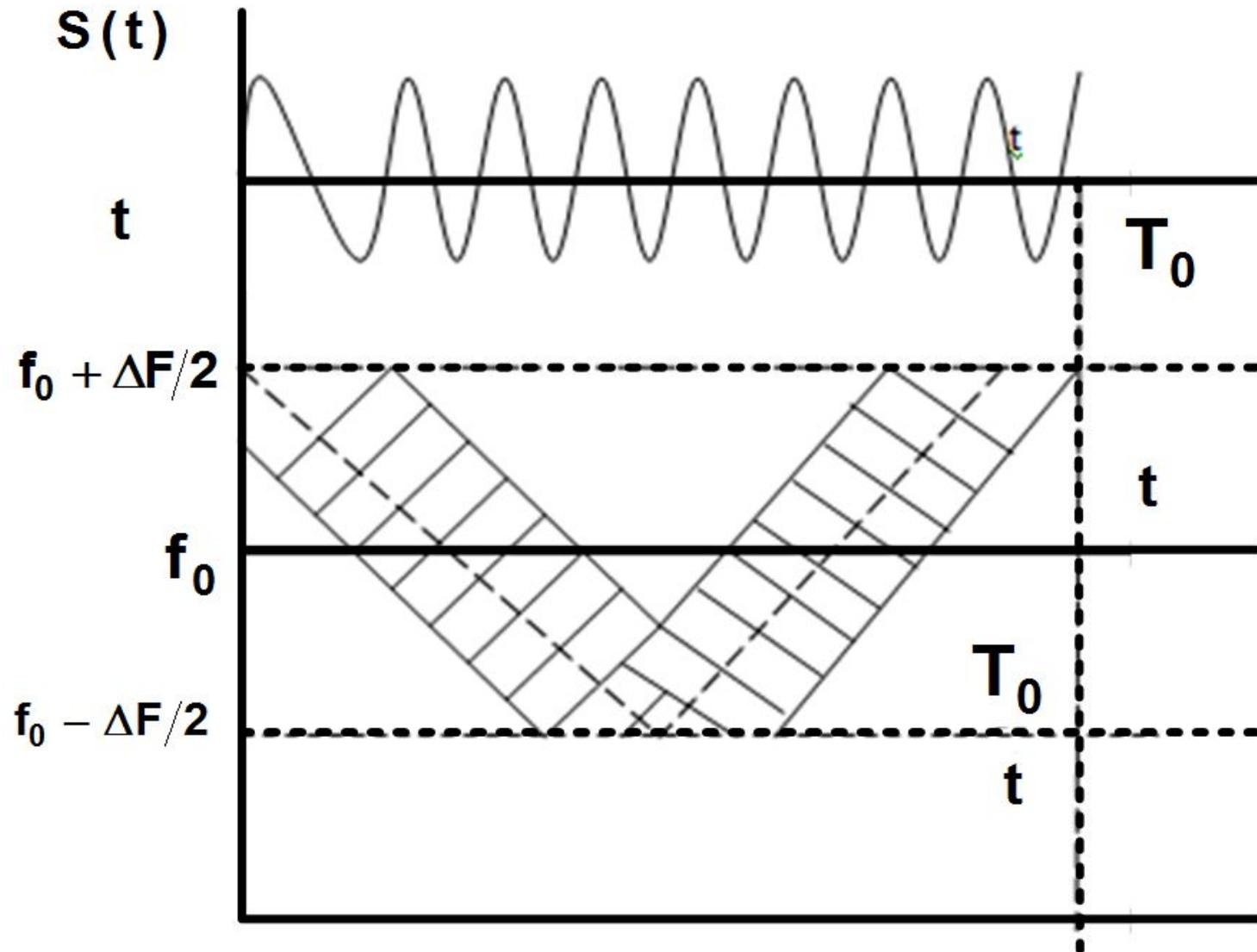
# ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

$|S(f)|$

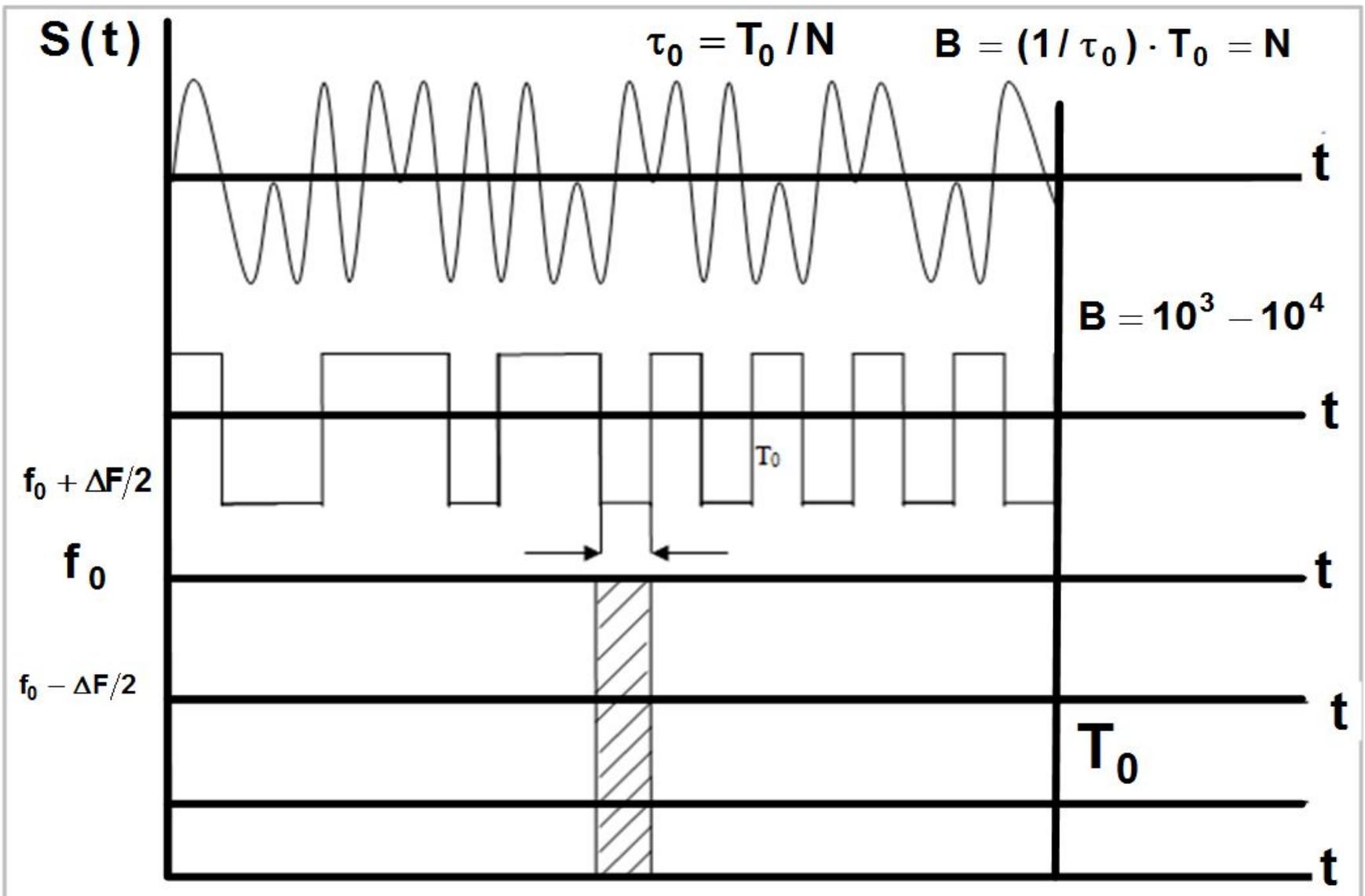
Сложными (шумоподобными) сигналами называют сигналы, у которых база существенно больше



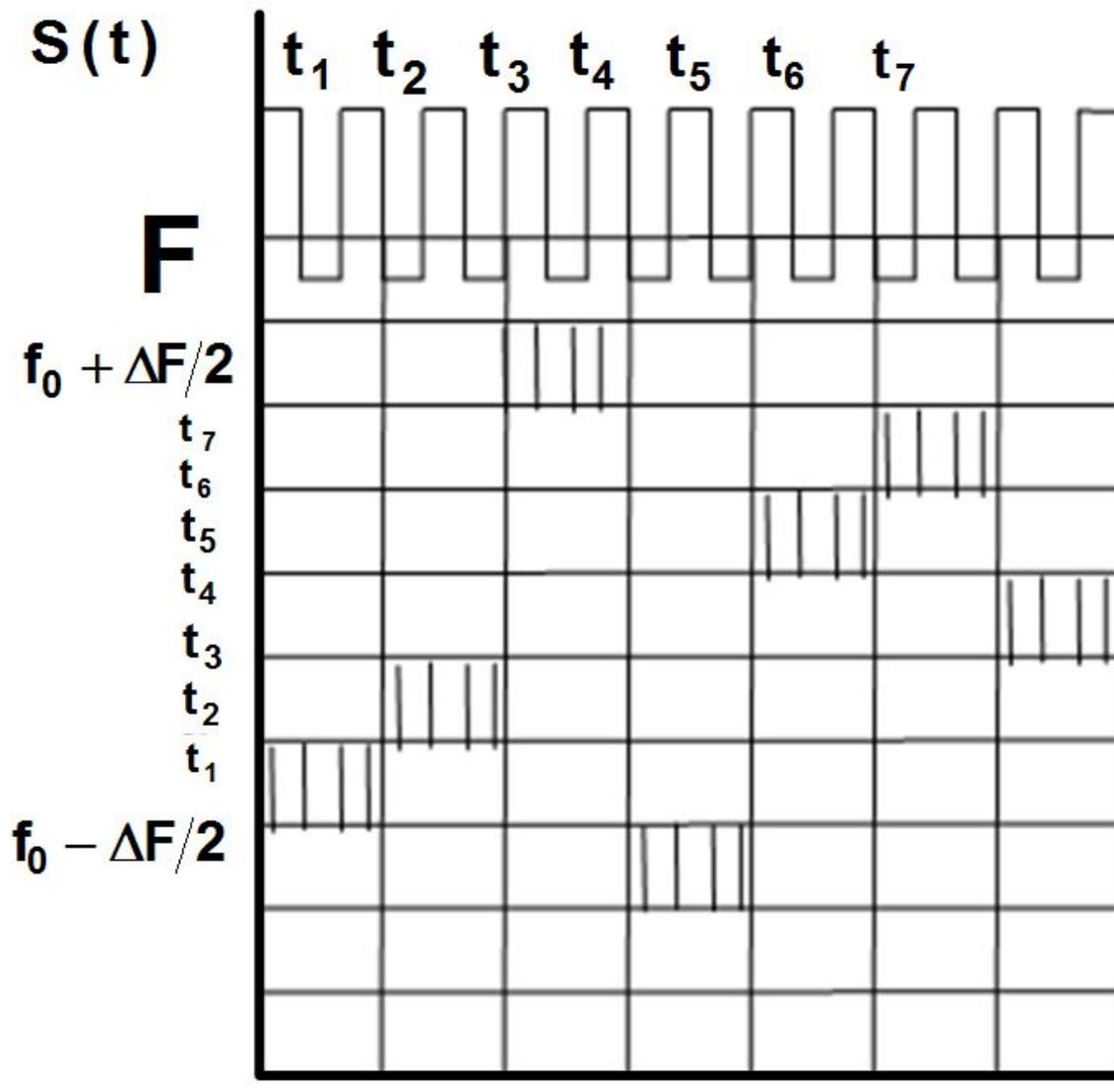
# ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ



# ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ



# ДИСКРЕТНЫЕ ЧАСТОТНЫЕ СИГНАЛЫ (СЛАЙД 1)

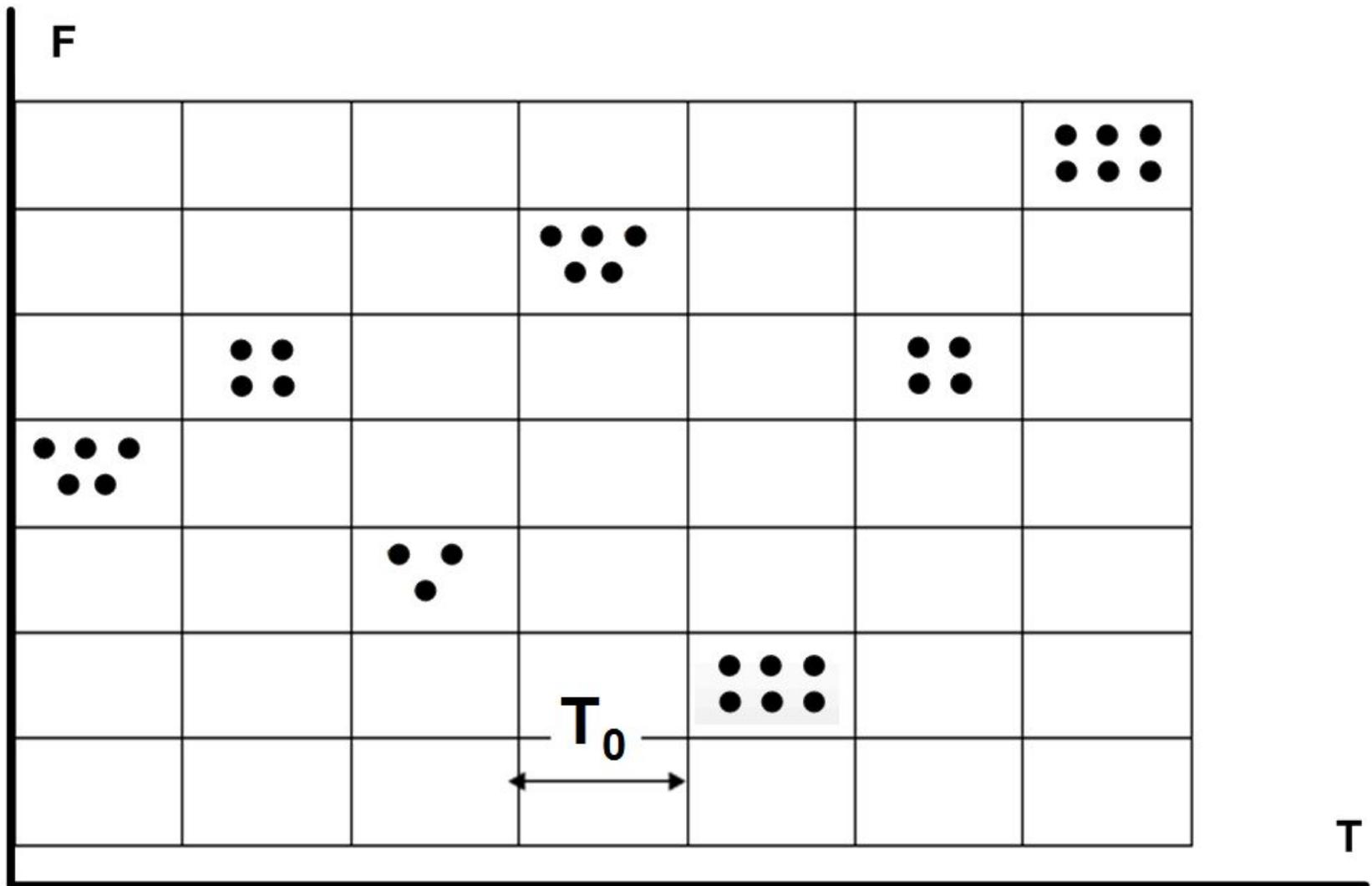


$$F_0 \cdot \tau_0 = N_0$$

$$\begin{aligned} B &= F \cdot T_0 = \\ &= N^0 \cdot F_0 \cdot \tau_0 = \\ &= N_0 \cdot N^2 \end{aligned}$$

$$B_0 = N_0^2 \cdot N^2$$

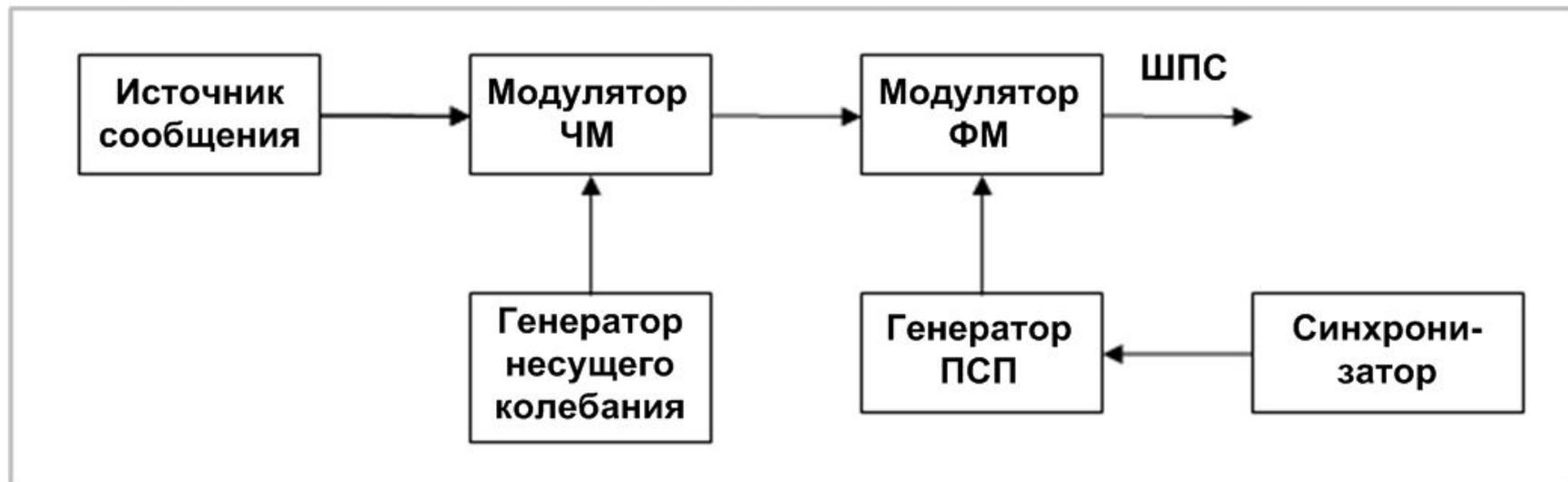
# ДИСКРЕТНЫЕ ЧАСТОТНЫЕ СИГНАЛЫ (СЛАЙД 2)



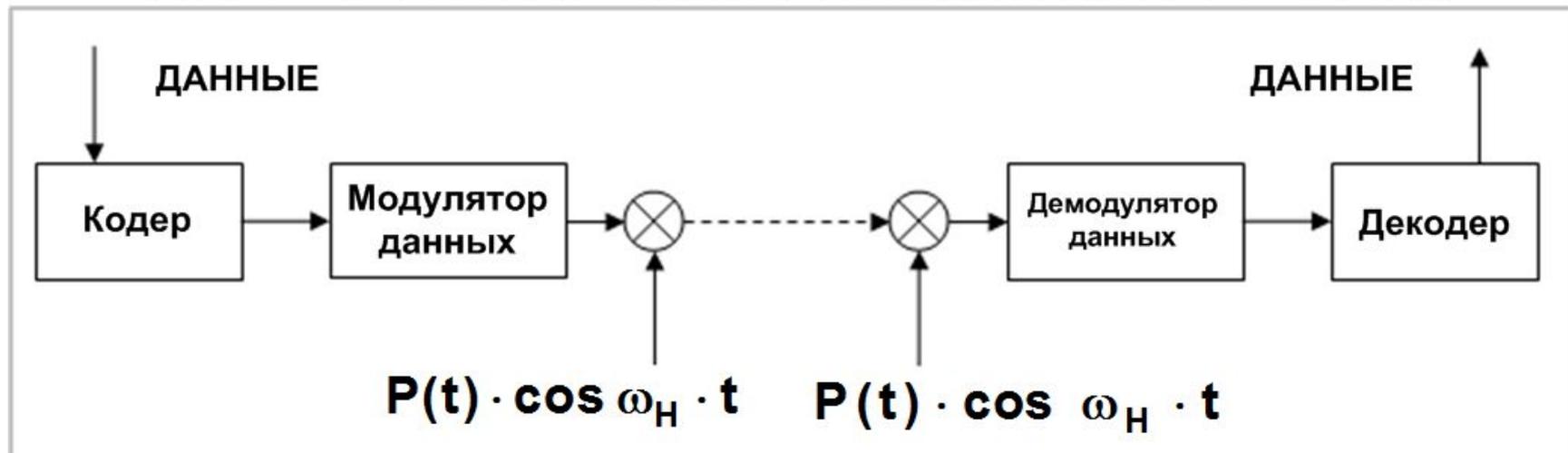
### **3. Способы формирования шумоподобных сигналов**

# СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ ШПС (СЛАЙД 1)

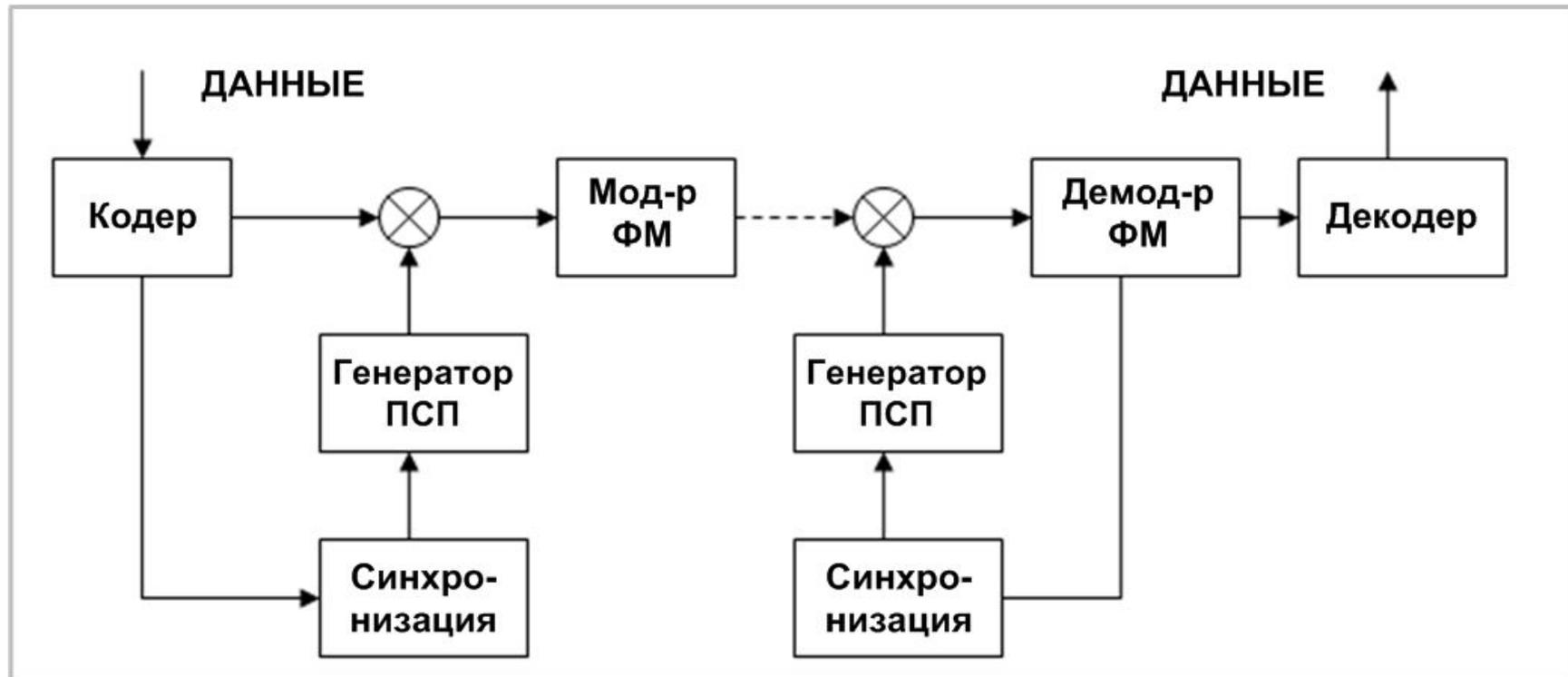
## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ ЧАСТОТ



## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СРС ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ

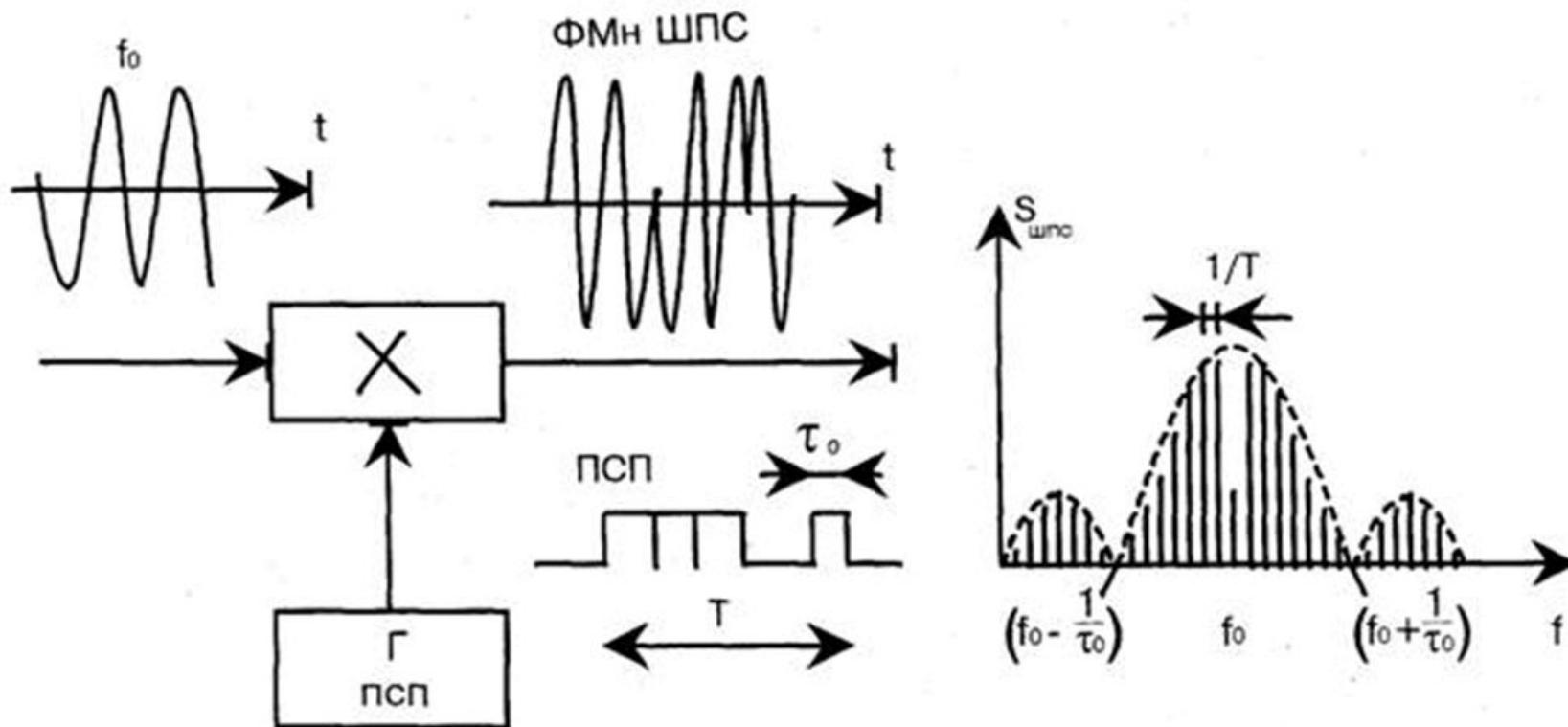


## СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ ШПС (СЛАЙД 2)



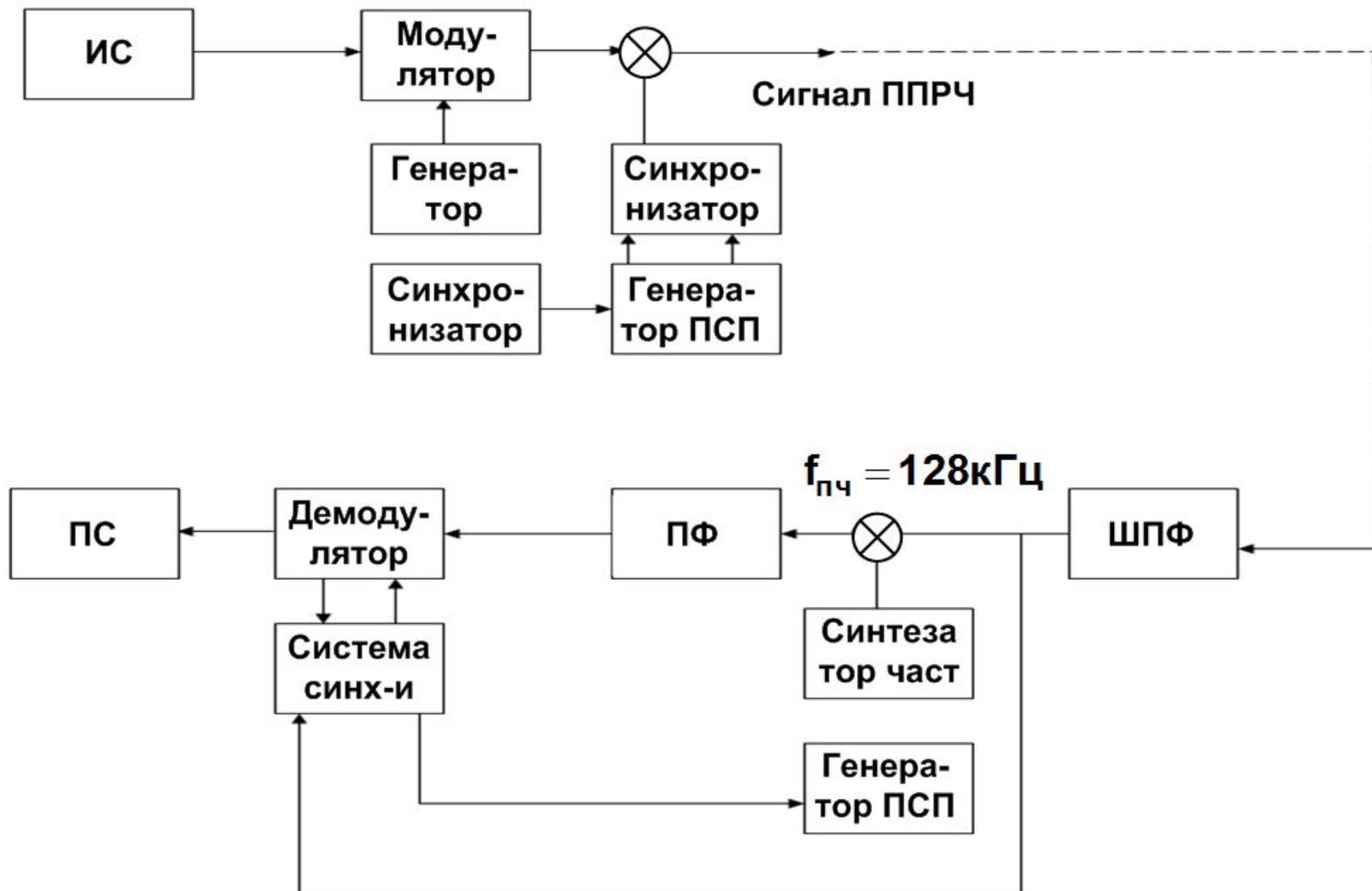
Формирование дискретных ШПС, как правило, основано на использовании ПСП, причем для системы может потребоваться несколько ПСП. При работе в сети каждый передатчик СРС-ПСП наделяется индивидуальной ПСП, что позволяет приемнику осуществлять селектирование интересующей его информации.

# СКАЧКООБРАЗНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НЕСУЩЕЙ



При СИЧ расширение спектра осуществляется путем скачкообразного изменения частоты сигнала по псевдослучайному закону. Основные элементы радиостанции, работающей в режиме СИЧ: синтезатор частоты, ГПСП, блок синхронизации. Генераторы ПСП управляют синтезаторами частоты на передающем и приёмном концах линии.

# ОДНОКАНАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ СРС – СИЧ



**Таким образом, в результате изучения лекции № 17 удалось сделать следующие выводы:**

- система функций Уолша – это полная ортогональная система. Функции Уолша не имеют хороших корреляционных свойств, но обладают свойством ортогональности, что и определяет их практическое применение;**
- сложные сигналы с большой базой обеспечивают следующие преимущества: высокую помехозащищенность систем связи, эффективную борьбу с искажениями в канале связи, одновременную работу многих абонентов в общей полосе частот за счет кодового разделения сигналов, совместимость процессов передачи информации с измерением параметров движения объектов, более эффективное использование спектра частот на ограниченной территории.**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Бернард Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Сухоруков А.С. Теория электрической связи: Конспект лекций. Часть 1. – М.: МТУСИ, ЦЕНТР ДО, 2002. – 65 с.
4. Сухоруков А.С. Теория цифровой связи: Учебное пособие. Часть 2. – М.: МТУСИ, 2008. – 53 с.
5. Аджемов А.С. Мир информационной реальности. – М.: ИРИАС, 2006. – 296 с.
6. Каганов В.И., Битюков В.К. Основы радиоэлектроники и связи: Учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 542 с.
7. Стеценко О.А. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. – М.: Высш. шк., 2007. – 432 с.
8. Санников В.Г. Сборник задач по курсу «Теория электрической связи»: Учеб. пособие. Часть 1. – М.: МТУСИ, 1992. – 62 с.
9. Санников В.Г. Сборник задач по курсу «Теория электрической связи»: Учеб. пособие. Часть 2. – М.: МТУСИ, 2001. – 65 с.
10. Санников В.Г. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция: Учеб. пособие. – М.: МТУСИ, 2006. – 56 с.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**