

## Лекция 4.

# Частотное и кодовое разделение сигналов в СРНС.

- Семейство сигналов СРНС – это набор сигналов одного типа, излучаемых разными навигационными спутниками.
- Навигационные сигналы одного семейства обязаны быть различимы между собой.
- Мерой схожести/различимости двух сигналов является их взаимно-корреляционная функция (ВКФ).

# Свойства сигналов СРНС

$$s_i(t) = A \cdot G_i(t) \cos(\omega_{0,i}t + \varphi_{0,i}), \quad G_i(t) = \{\pm 1\}$$

- Периодичность:  $s_i(t) = s_i(t - T)$   
( $T$  – период, для всех сигналов одинаков)

- Равенство мощностей:  $A_i = A_j$

- Постоянный уровень огибающей



BPSK modulated signal

# Взаимно-корреляционная функция по частоте и задержке

$$K_{ij}(\tau, \omega) = \int_0^T s_i(t, \omega_i) s_j(t - \tau, \omega_j - \omega) dt$$

- Критерий сравнения сигналов

$$\frac{\max_{\tau, \omega} |K_{ij}(\tau, \omega)|}{A^2 / 2} \rightarrow \min$$

- Для достижения минимума можно варьировать:

$$G_{\text{мод},i}(t), \quad \omega_i, \quad \varphi_{0,i}$$

# Частотное разделение сигналов

## Определение.

В системах с частотным разделением сигналов, сигналы одного семейства различаются номинальным значением несущей частоты  $\omega_i$

Пример: ГЛОНАСС (LxSF, LxOF)

# Кодовое разделение сигналов

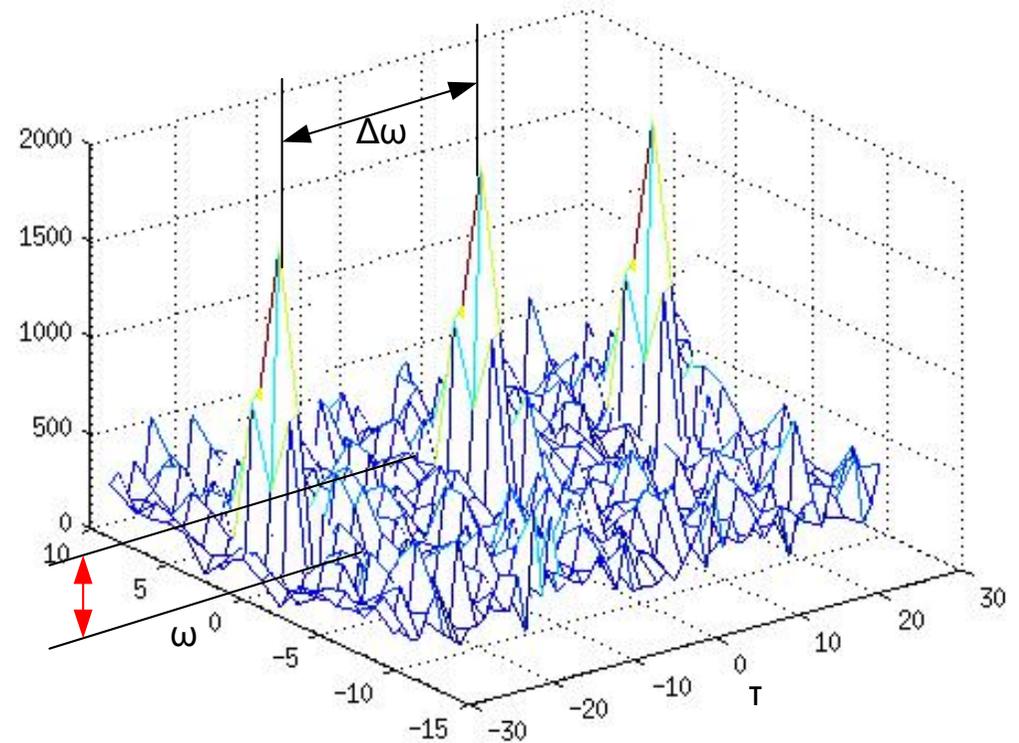
## Определение.

В системах с кодовым разделением сигналов сигналы одного семейства различаются видом модулирующей функции дальномерного кода  $G_{\text{мод},i}(t)$

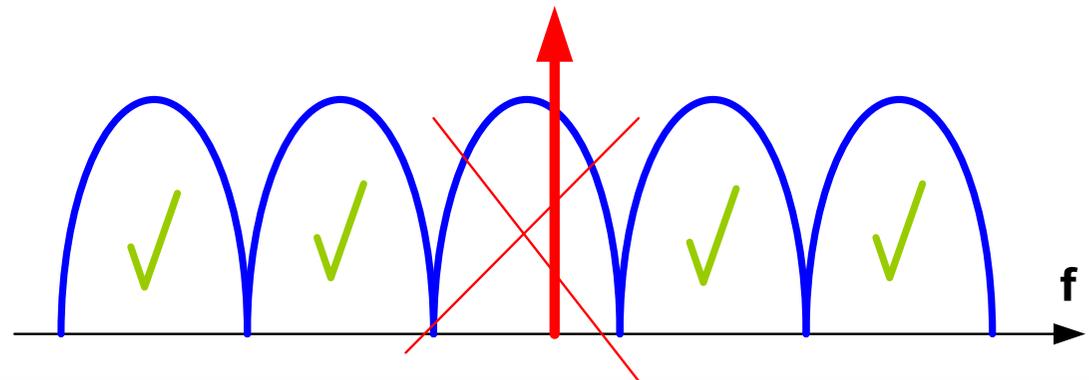
Пример: GPS, Galileo, ГЛОНАСС L3OC

# Достоинства частотного разделения сигналов

1. Высокая степень  
различимости =>  
лучшие характеристики  
поиска

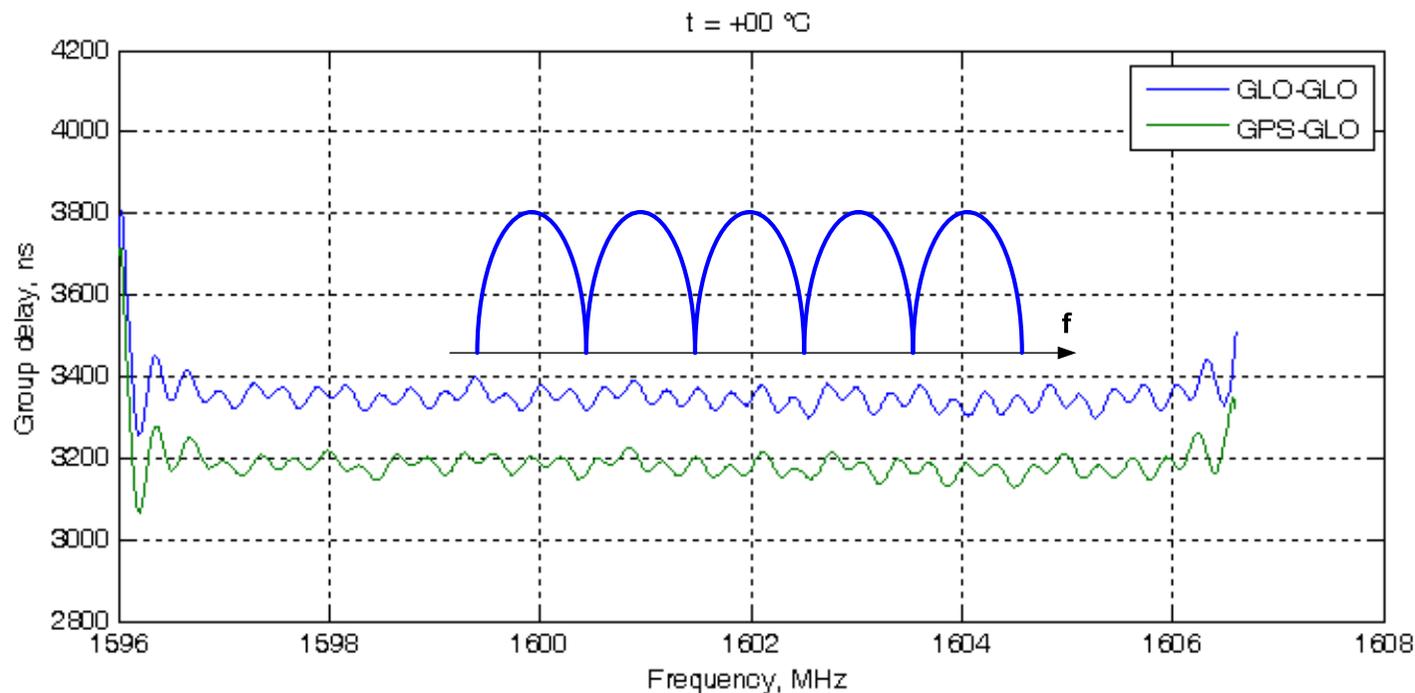


2. Высокая  
помехоустойчивость к  
узкополосным помехам



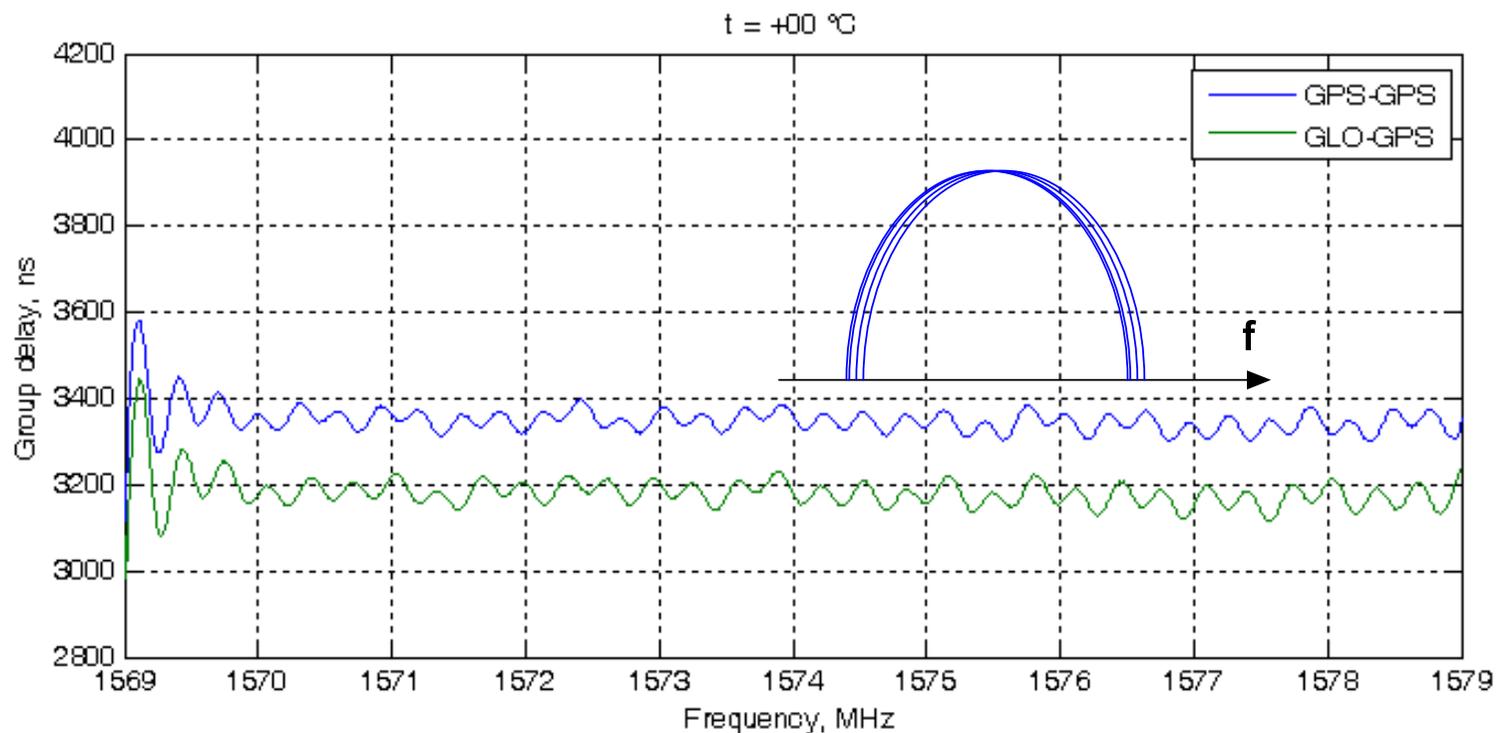
# Недостатки частотного разделения сигналов

1. Широкая полоса частот => скоростной АЦП => высокое энергопотребление НАП
2. Влияние неравномерности ГВЗ радиочастотного тракта на точность координатных определений



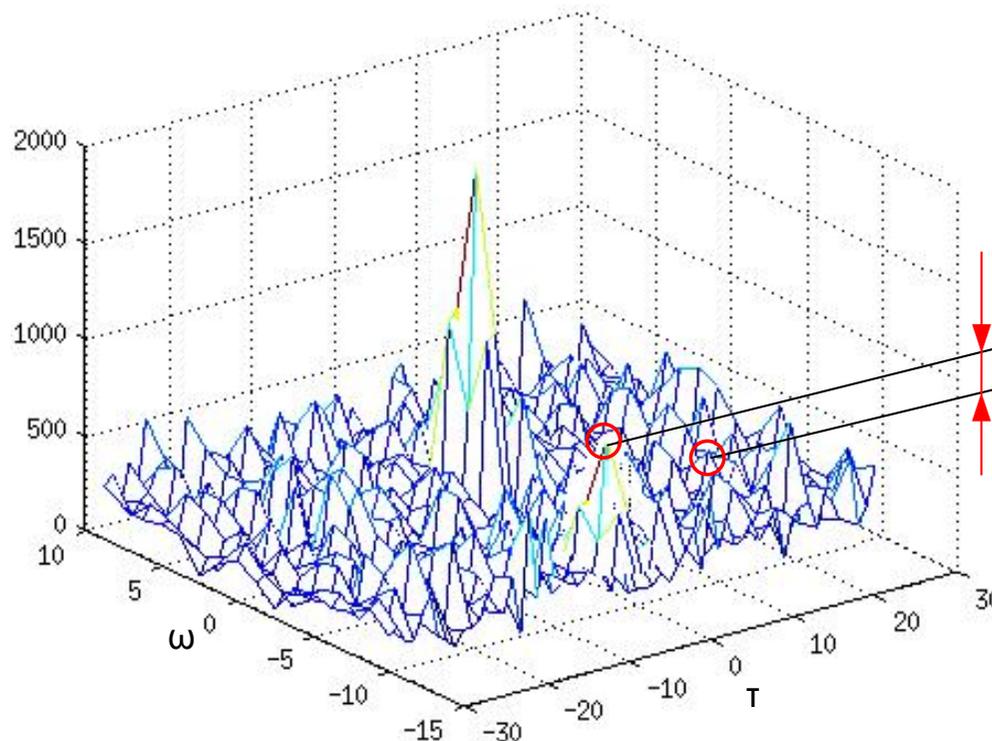
# Достоинства кодового разделения сигналов

1. Узкая полоса => низкое энергопотребление НАП
2. Нет влияния неравномерности ГВЗ радиочастотного тракта на точность координатных определений

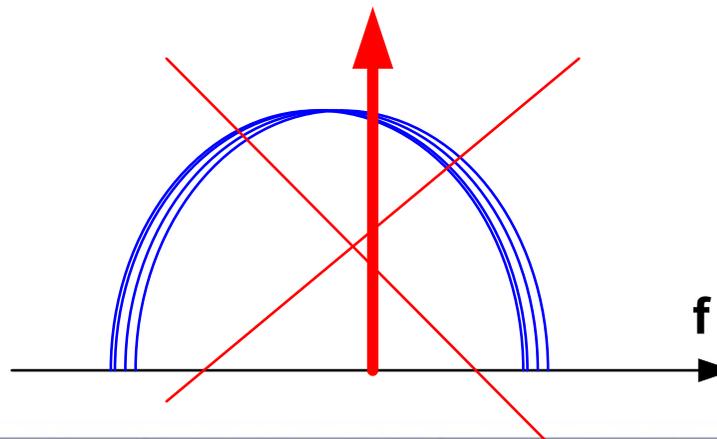


# Недостатки кодового разделения сигналов

1. Принципиальный предел различимости => ухудшение характеристик поиска слабых сигналов в присутствии сильных



2. Низкая помехоустойчивость к узкополосным помехам



# Виды модуляции сигналов СРНС

*Во всех сигналах СРНС с точки зрения потребителя используется только 2 вида модуляции:*

- **Бинарная фазовая манипуляция ФМ2  
Binary Phase Shift Keying (BPSK)**
- **Бинарная фазовая манипуляция с  
цифровой поднесущей  
Binary Offset Carrier (BOC).**

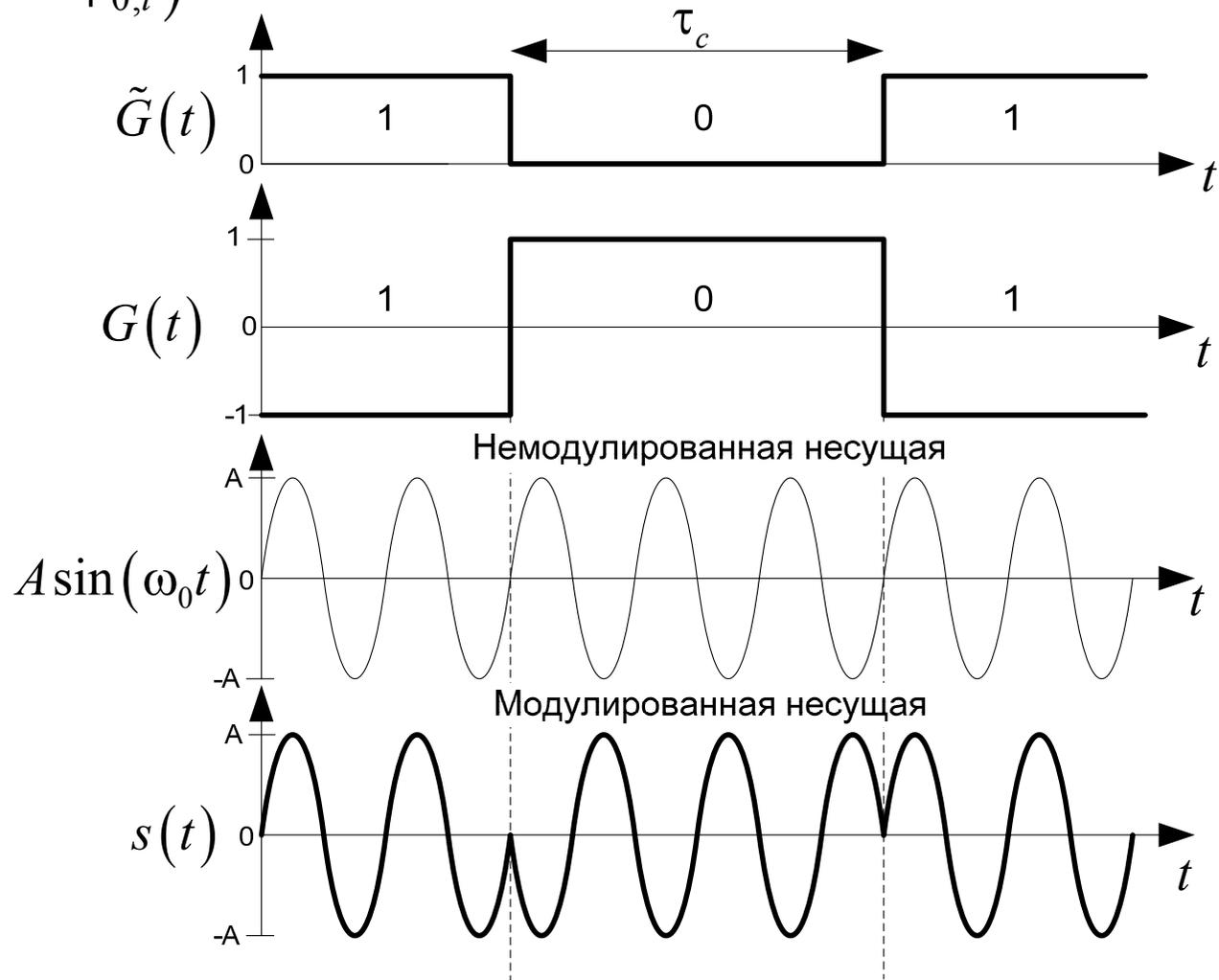
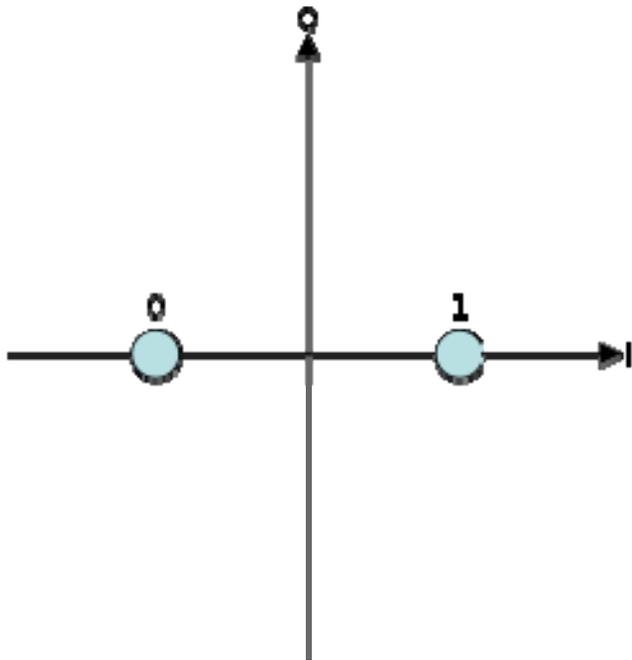
# ВРСК (ФМ-2) -

## Бинарная фазовая манипуляция

Общая структура сигнала СРНС:

$$s_i(t) = A \cdot G_i(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_{0,i})$$

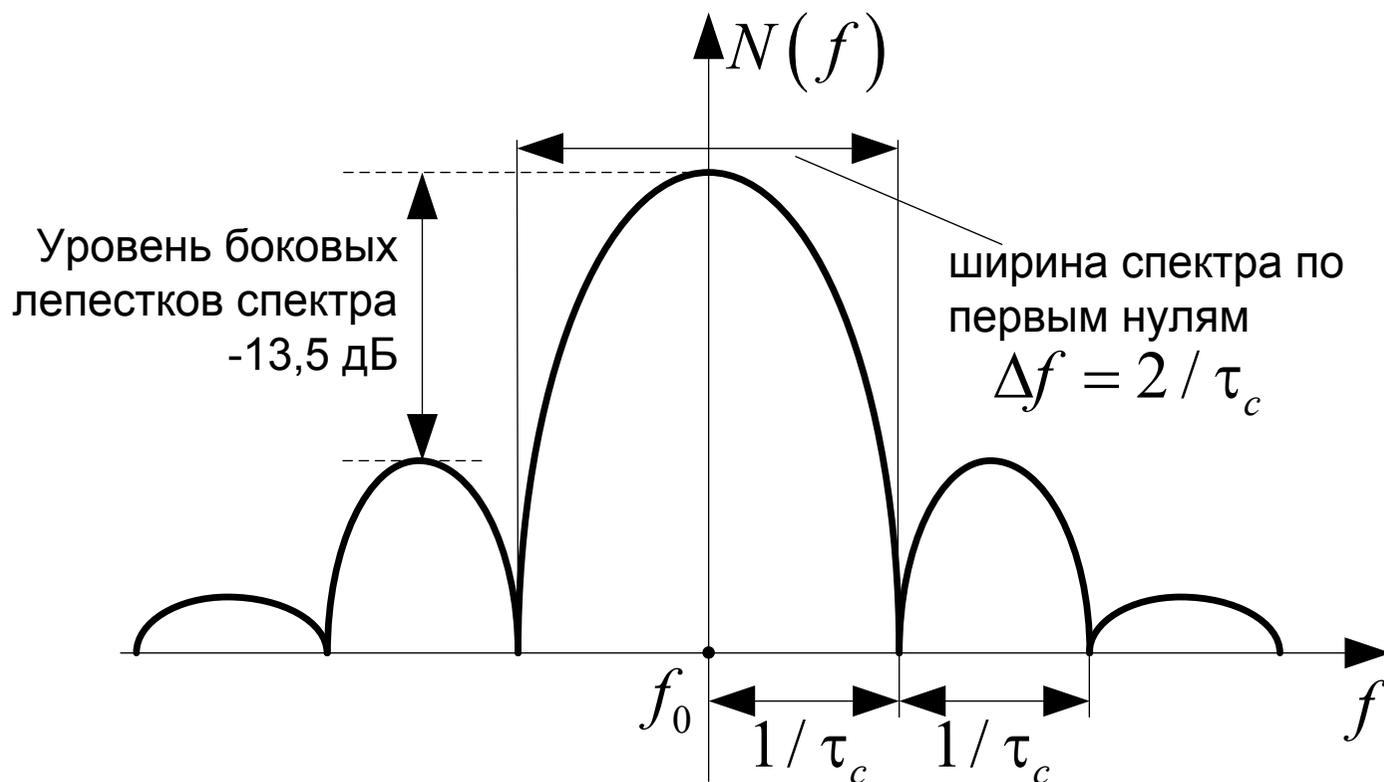
$$G_i(t) = G_{\text{ДК},i}(t) G_{\text{НС},i}(t)$$



# Спектр сигнала ФМ-2

Выражение для спектральной плотности мощности:

$$N_0(f) = \tau_c \left( \frac{\sin(\pi f \tau_c)}{\pi f \tau_c} \right)^2 \cdot \left[ \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - k/T) \right]$$



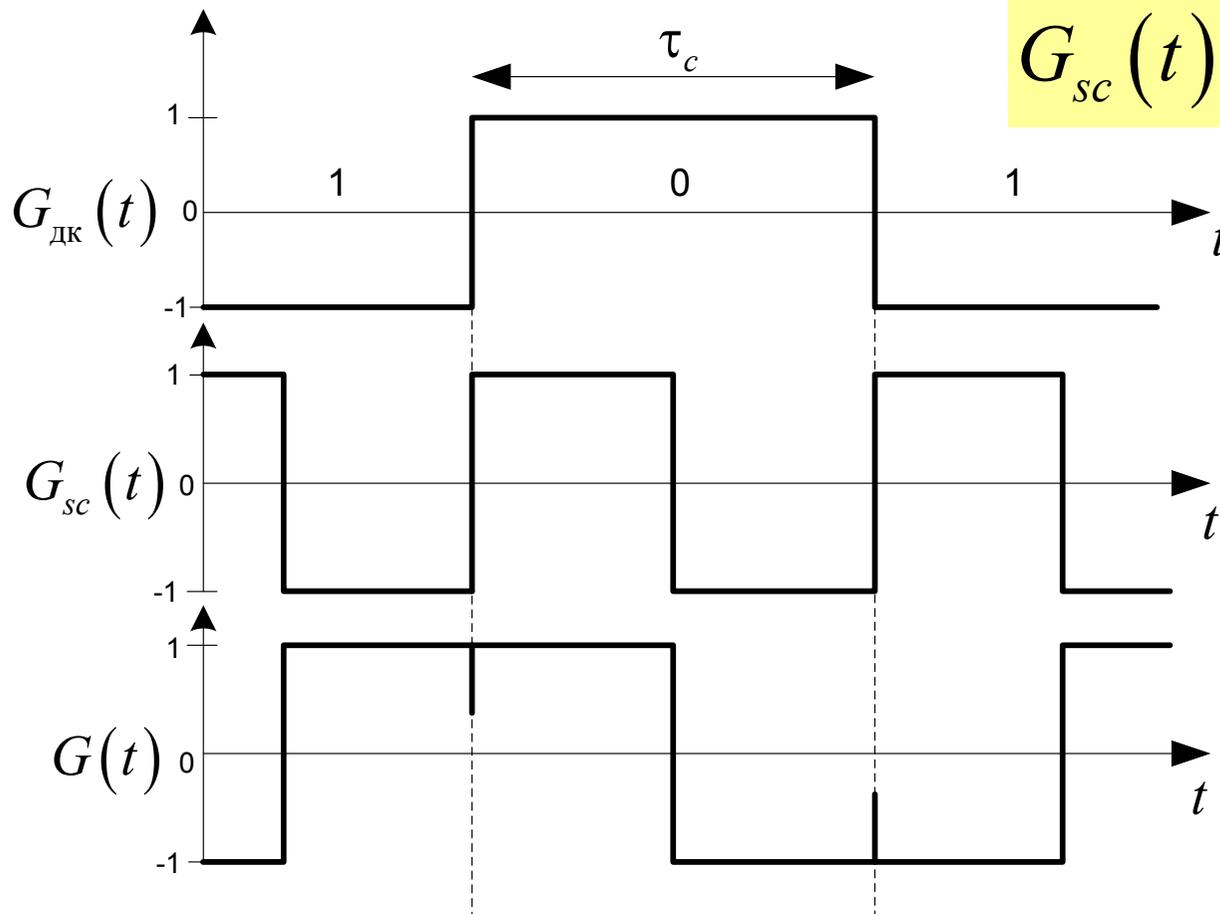
$\tau_c$  - длительность элементарного символа дальномерного кода

# ВОС - Модуляция цифровой поднесущей

Структура цифровой огибающей сигнала СРНС при ВОС-модуляции:

$$G(t) = G_{sc}(t) \cdot G_{дк}(t) G_{нс}(t)$$

$$G_{sc}(t) = \text{sign}(\sin(\pi f_s t))$$

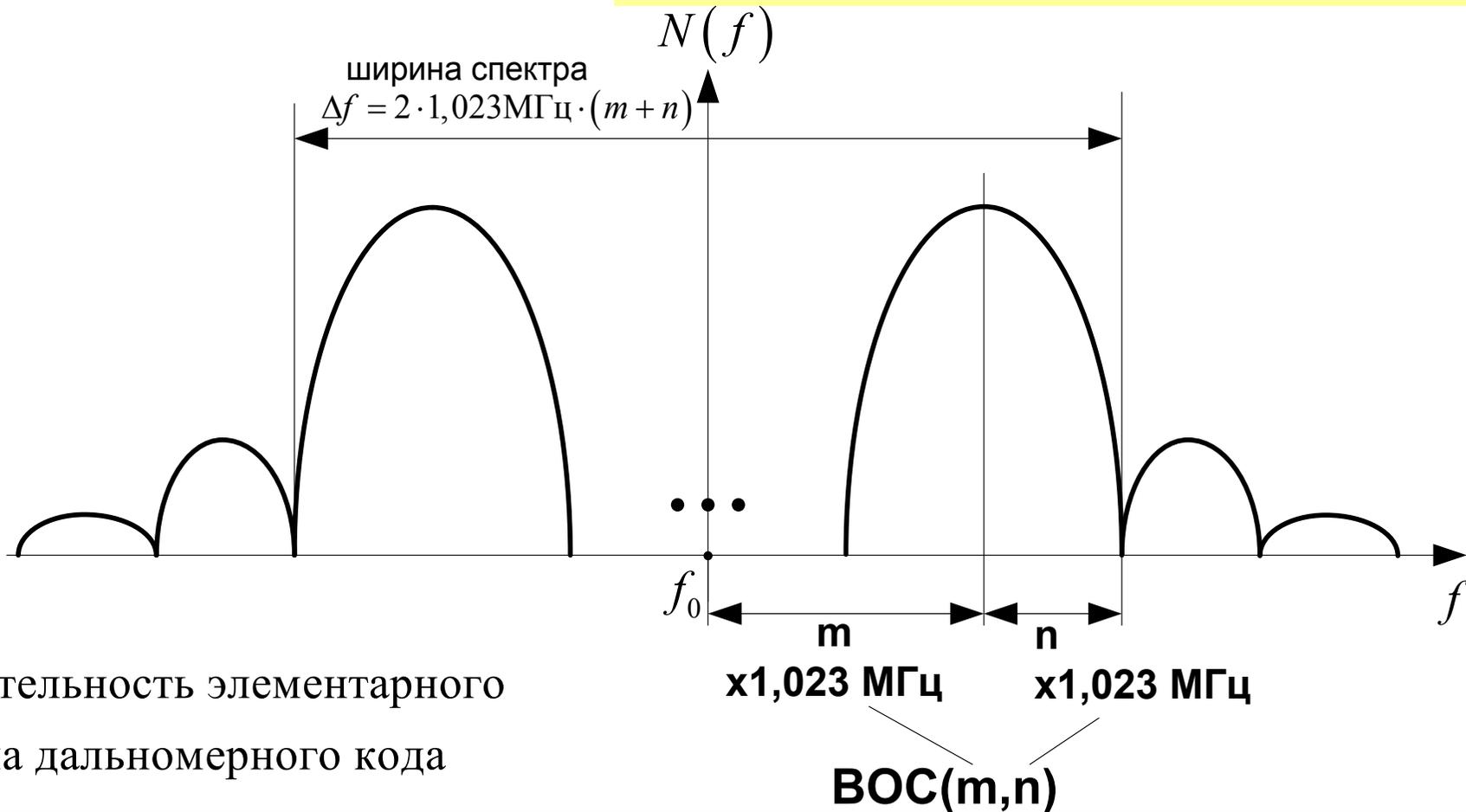


$f_s$  - кратна  
1,023/2 МГц

# Спектр сигнала с модуляцией ВОС

Выражение для огибающей СПМ:

$$N_{\text{ВОС}}(f) = \begin{cases} \frac{1}{f_c} \text{sinc}^2(\pi f / f_c) \text{tg}^2\left(\frac{\pi f}{2 f_s}\right) & \text{при } f_s = k f_c, \\ \frac{1}{f_c} \frac{\cos^2(\pi f / f_c)}{(\pi f / f_c)^2} \text{tg}^2\left(\frac{\pi f}{2 f_s}\right) & \text{при } f_s = \left(k + \frac{1}{2}\right) f_c, \end{cases}$$



$\tau_c$  - длительность элементарного символа дальномерного кода