

Лекция 11. Сигналы СРНС GPS. Частотные и спектральные характеристики сигналов. Дальномерные коды.



Сигналы L2C: IS-GPS-200

Количество компонент – 2 (Data/Pilot)

Уплотнение компонент – временное

Вид модуляции: BPSK(1) (суммарный сигнал)

$$s_{L2C,k}(t) = A \cdot \left| \begin{array}{c} G_{CM,k}(t) \cdot G_{HC,k}(t) \\ G_{CL,k}(t) \end{array} \right| \cdot \sin(2\pi f_{L2}t + \varphi_{0L2})$$

Временное уплотнение компонент

$$G_{xxx}(t) = \{\pm 1\}$$

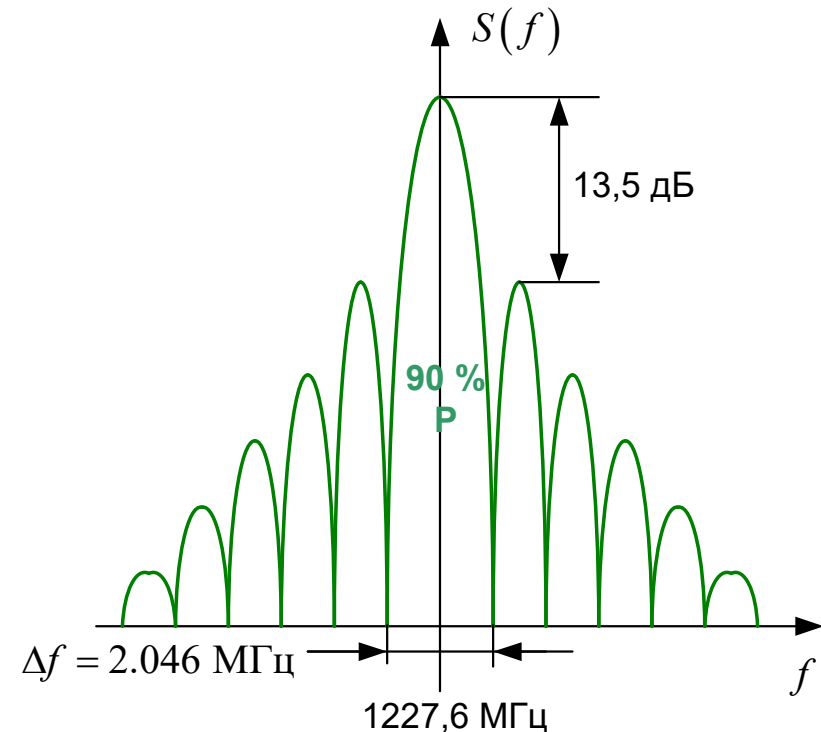
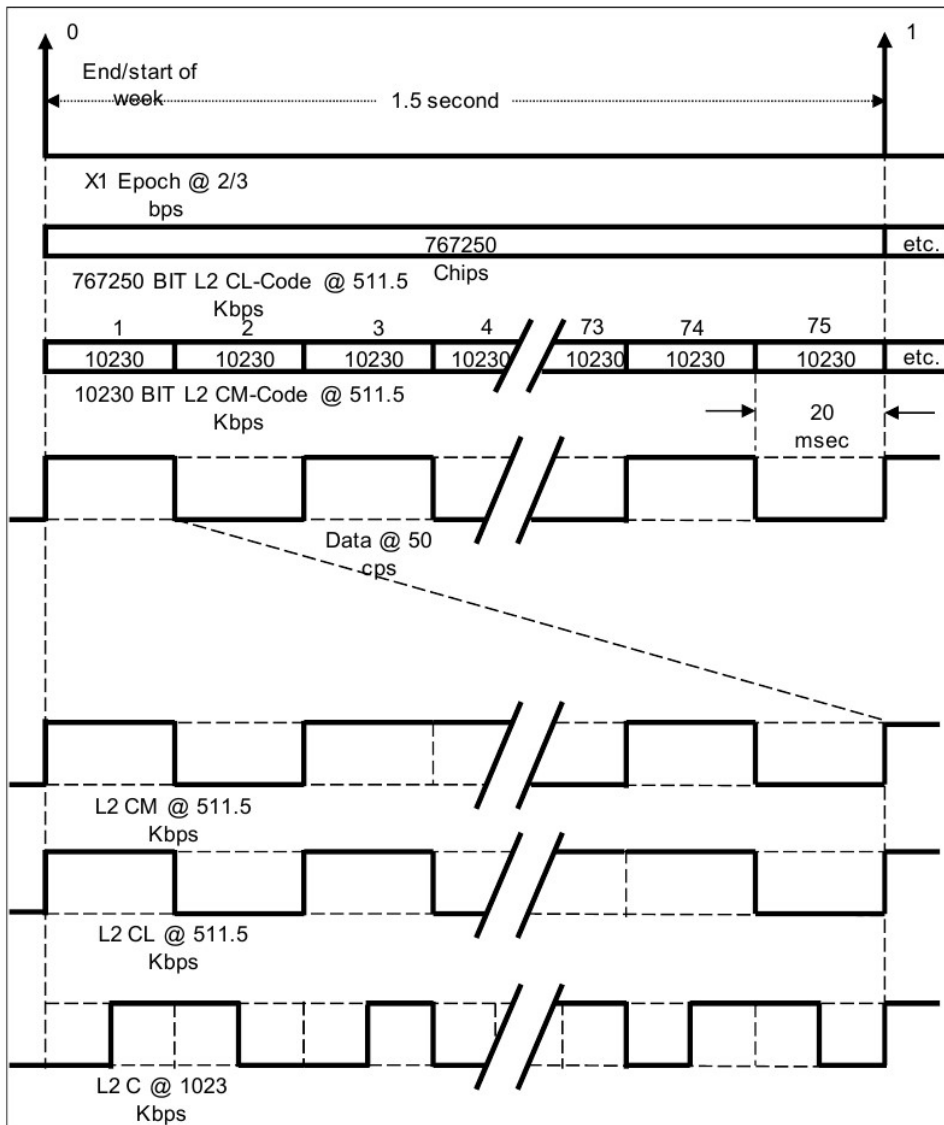
CL – Code Long (длинный код);

CM – Code Moderate (код средней длительности);

Бинарная последовательность	$G_{CM,k}(t)$	$G_{CL,k}(t)$	$G_{HC,k}(t)$
Длительность элементарного символа τ_s	1/511,5 мс	1/511,5 мс	20 мс
Период T	20 мс	1,5 с	-

Временное уплотнение компонент сигнала L2C. Спектр сигнала L2C.

Спектр сигнала L2C соответствует BPSK(1)



Дальномерные коды сигнала L2C

СМ-код “Civil moderate” (информационная компонента)

Тип: укороченная M-последовательность

Период: $T_{cm} = 20$ мс

Длина кода $L=10230$ бит

Частота выборки символов: $F_T = 0,5115$ Мбит/с

СL-код “Civil long” (пилотная компонента)

Тип: укороченная M-последовательность

Период: $T_{cl} = 75 \times T_{cm} = 1,5$ с

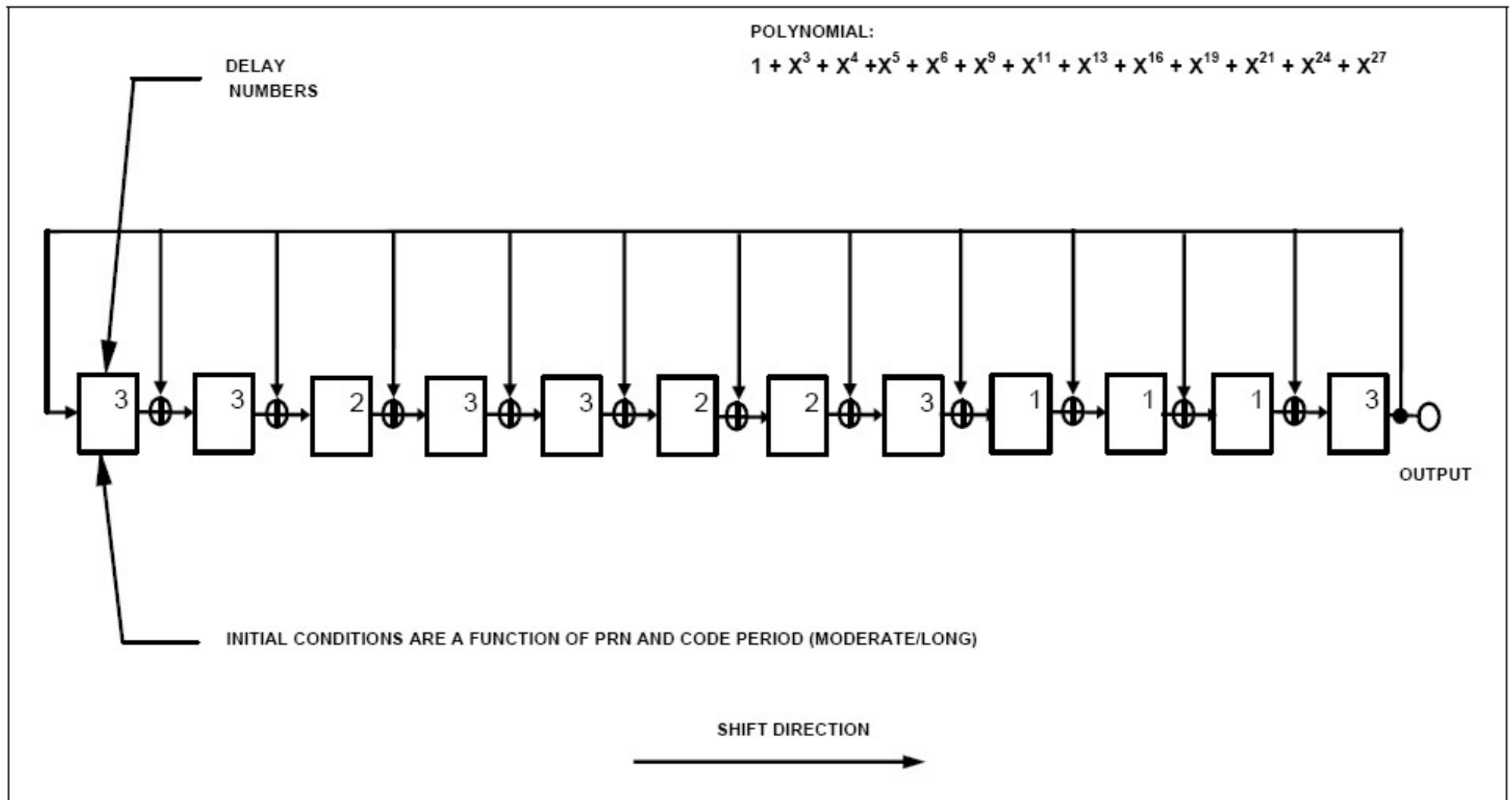
Длина кода: $L=767250$ бит

Частота выборки символов: $F_T = 0,5115$ Мбит/с

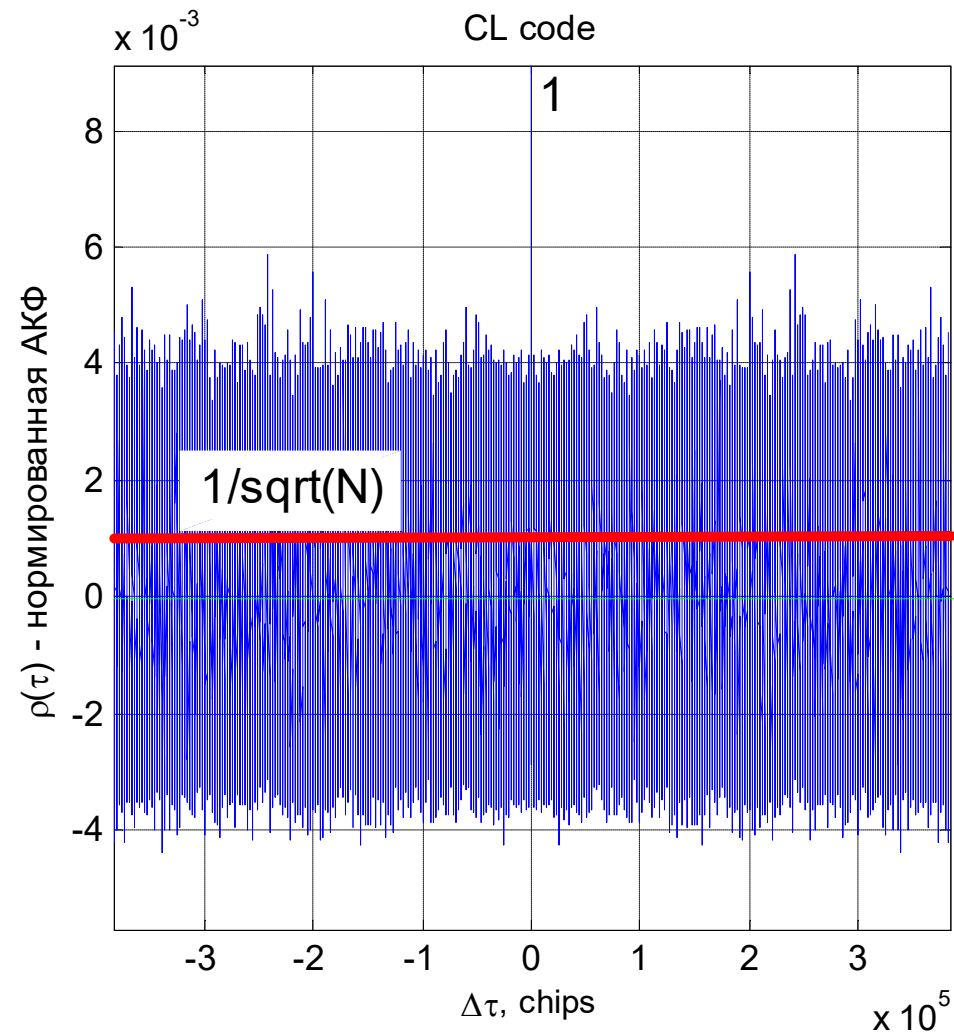
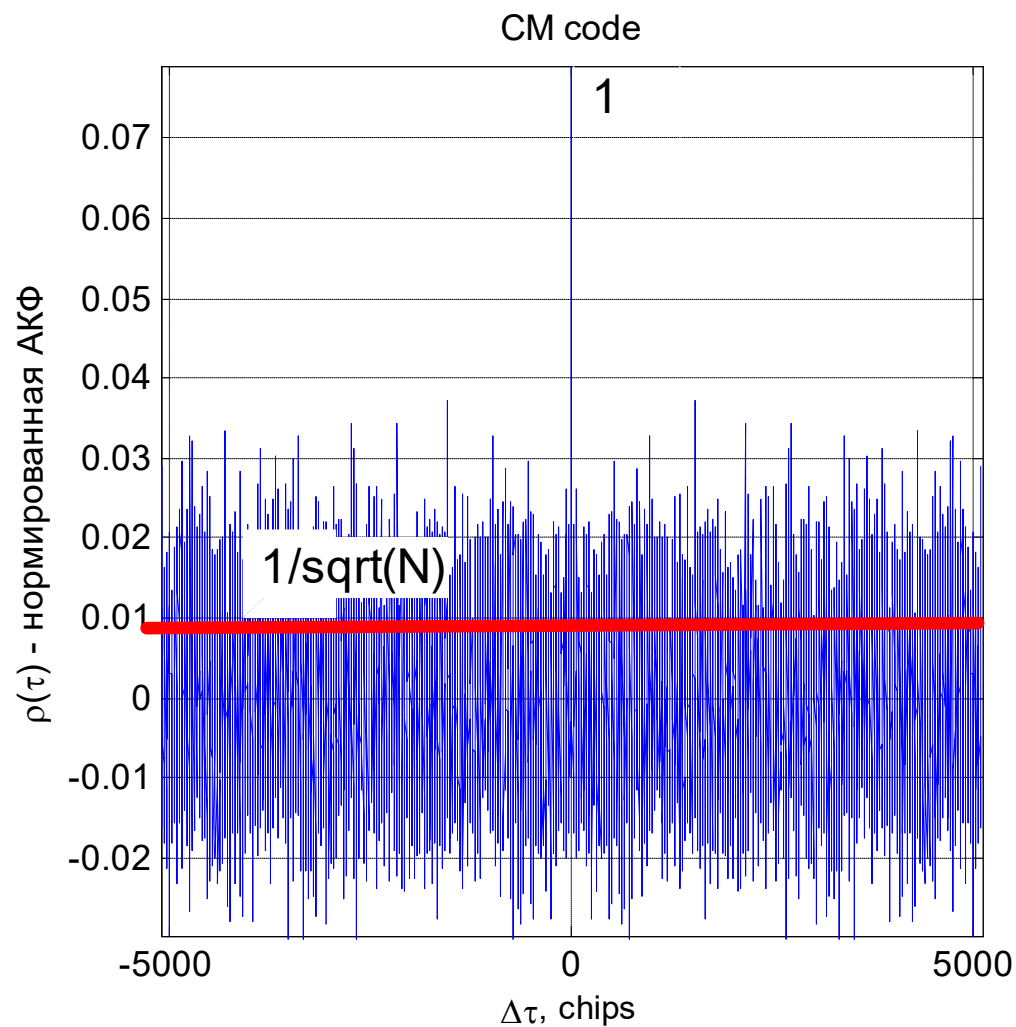
Суммарная огибающая сигнала формируется временным уплотнением СL-кода и СМ-кода с наложенными данными:
| СМxD | СL | СМxD | СL | СМxD | СL | СМxD | СL | СМxD | СL |....

Формирование кодов СЛ и СМ

$$B_{CT}(x) = 1 + x^3 + x^6 + x^8 + x^{11} + x^{14} + x^{16} + x^{18} + x^{21} + x^{22} + x^{23} + x^{24} + x^{27}$$



Корреляционные свойства кодов СЛ и СМ



Навигационное сообщение в сигнале L2C

Информационная скорость: 25 бит/с

Помехоустойчивое кодирование: FEC(133,171) =>

Кодовая скорость 50 бит/с

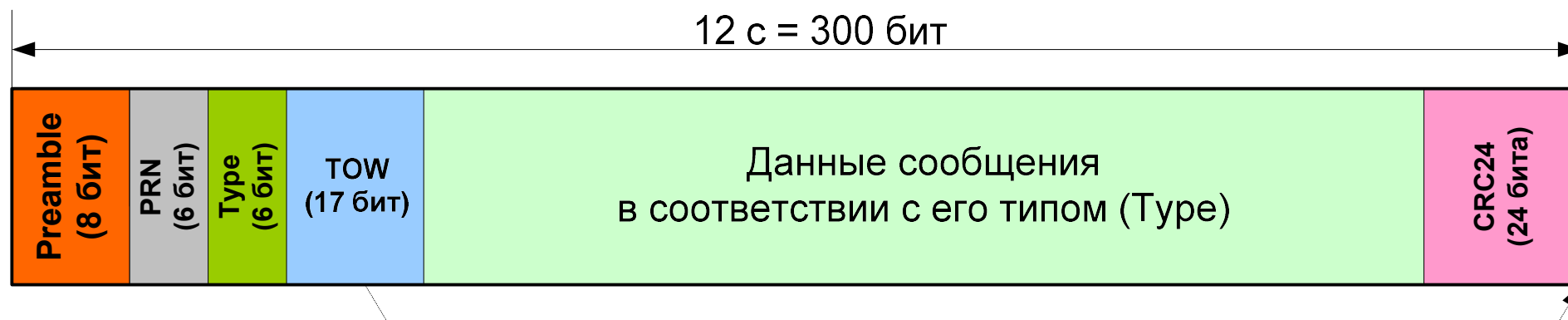
Символьная синхронизация и устранение инверсного приема:
дальномерный код (1 период на 1 бит ЦИ)

Длина строки (message): 12 с = 300 бит

Контроль ошибок: CRC24 (24 бит на строку)

Строковая синхр-ция: преамбула 8 бит (0x8B)

Порядок передачи строк: не фиксирован



Интервалы передачи строк в НС L2C

Message Data	Message Type Number	Maximum Broadcast Intervals [†]
Ephemeris	10 & 11	48 sec
Clock	Type 30's	48 sec
ISC, IONO	30*	288 sec
Reduced Almanac	31* or 12	20 min**,****
Midi Almanac	37*	120 min**,****
EOP	32*	30 min****
UTC	33*	288 sec
Diff Correction	34* or 13 & 14	30 min***,****
GGTO	35*	288 sec****
Text	36* or 15	As needed****

Сигналы L5: IS_GPS_705

Вид модуляции: QPSK(10)

Количество компонент: 2 (pilot/data)

Уплотнение компонент: квадратурное

$$S_{\text{GPSL5},k}(t) = A \cdot G_{\text{I5},k}(t) \cdot G_{\text{NHI}}(t) \cdot G_{\text{HC},k}(t) \cdot \cos(2\pi f_{L5}t + \varphi_{0L5}) + \quad (\text{I5})$$

$$+ A \cdot G_{\text{Q5},k}(t) \cdot G_{\text{NHQ}}(t) \cdot \sin(2\pi f_{L5}t + \varphi_{0L5}) \quad (\text{Q5})$$

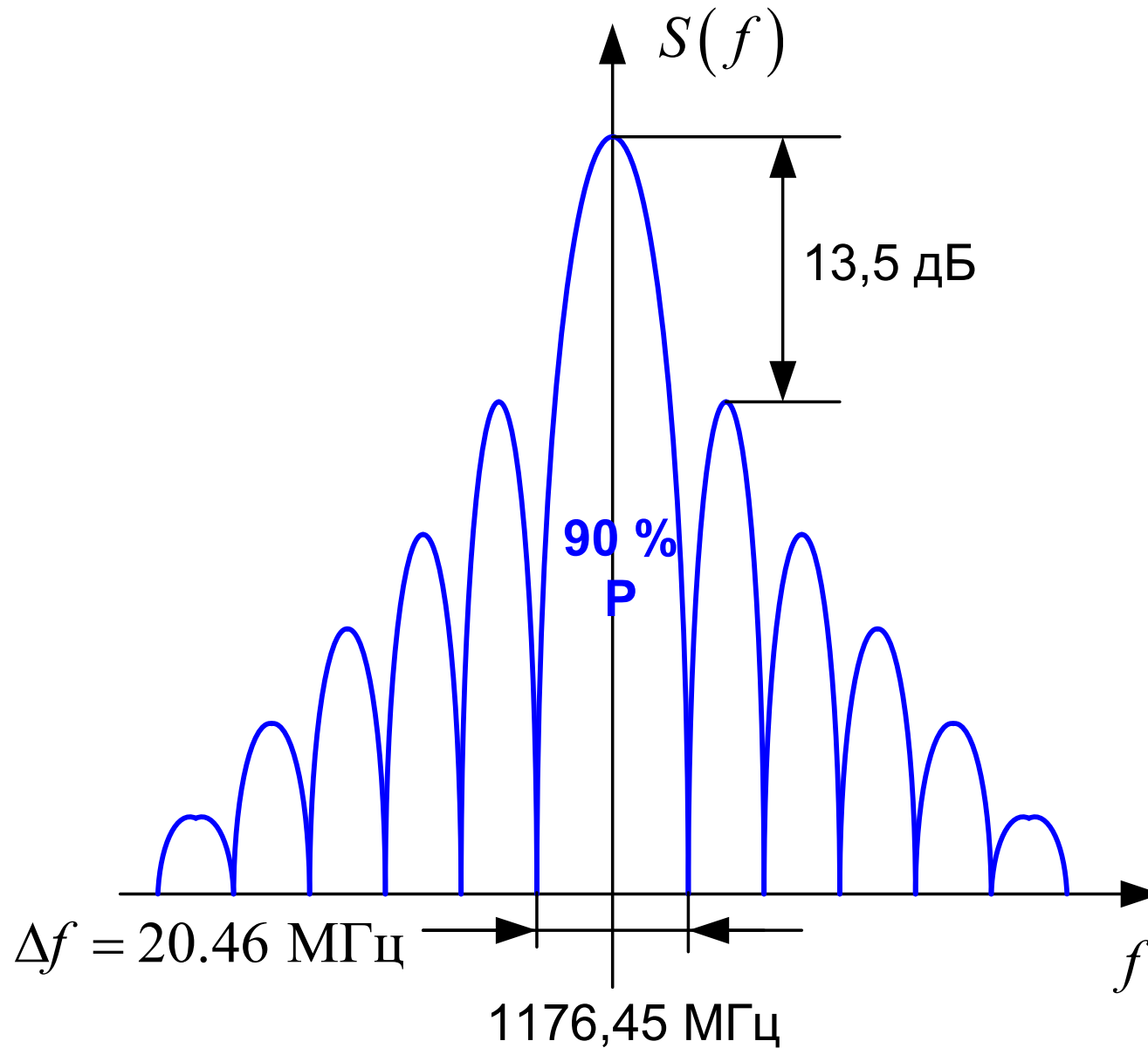
$$f_{L5} = 1176,45 \text{ МГц}$$

$$G_{\text{xxx}}(t) = \{\pm 1\}$$

I5, Q5 – дальномерные коды (Q5-pilot, I5-data);
 NHI, NHQ - коды Неймана-Хоффмана;
 HC – навигационное сообщение;

Бинарная последовательность	$G_{\text{I5},k}(t),$ $G_{\text{Q5},k}(t)$	$G_{\text{NHI}}(t)$	$G_{\text{NHQ}}(t)$	$G_{\text{HC}}(t)$
Длительность элементарного символа $\tau_{\text{э}}$	1/10230 мс	1 мс	1 мс	10 мс
Период T	1 мс	10 мс	20 мс	-

Спектр сигнала L5 – QPSK(10)



Дальномерные коды L5

Дальномерные коды XI, XQ

Тип: квазислучайные последовательности

Период первичных кодов XI, XQ: $T_p = 1$ мс

Длина первичных кодов $L = 10230$ бит

Частота выборки символов I5/Q5 : $F_T = 10,23$ Мбит/с

Оверлейный код информационного сигнала - NHl:

Тип: код Неймана-Хоффмана NHl = 0000110101

Период $T_{nhl} = 10$ мс

Длина $L = 10$ бит

Частота выборки символов $F_{nhl} = 1$ Кбит/с

Оверлейный код пилотного сигнала - NHq:

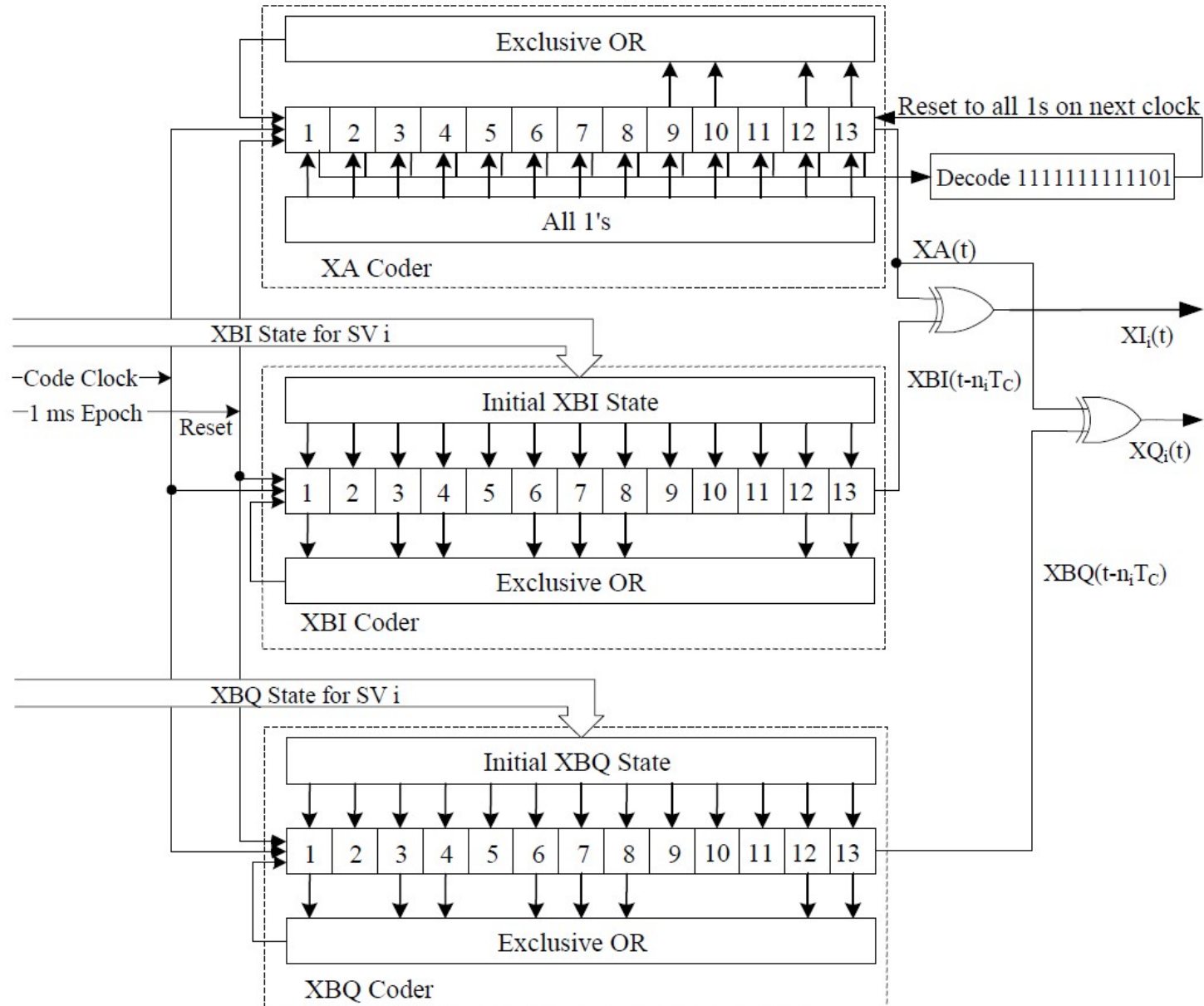
Тип: код Неймана-Хоффмана NHq = 00000100110101001110

Период $T_{nhq} = 20$ мс

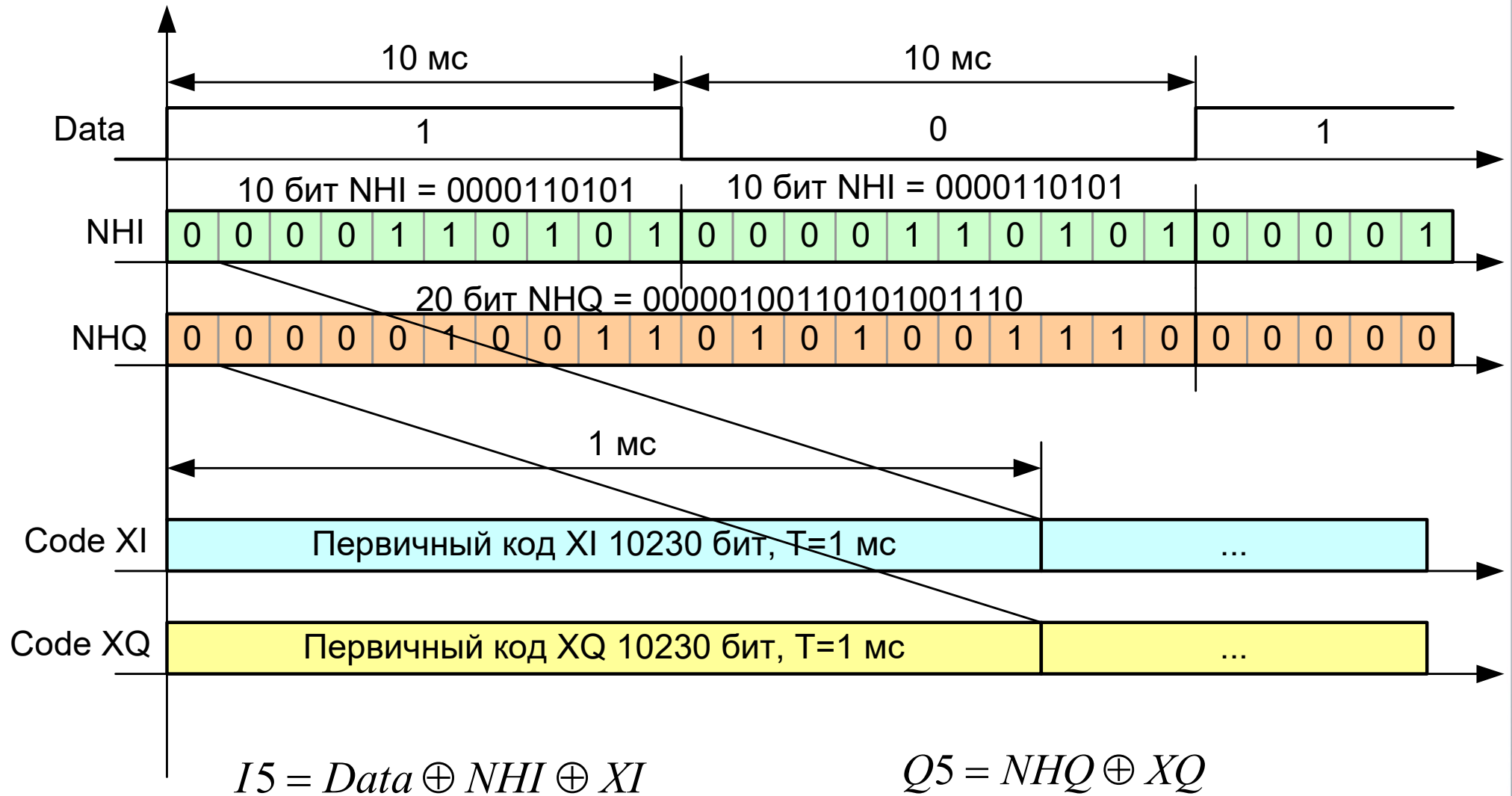
Длина $L = 20$ бит

Частота выборки символов $F_{nhq} = 1$ Кбит/с

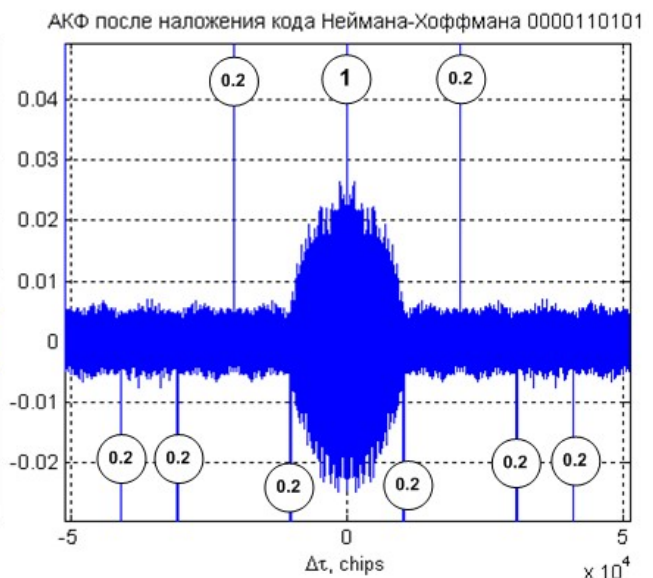
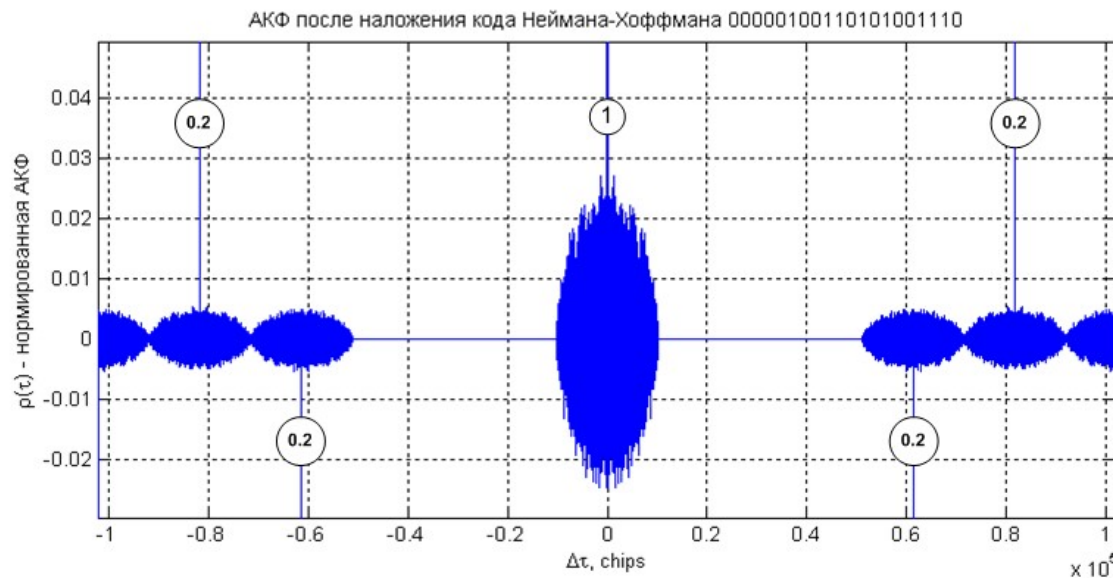
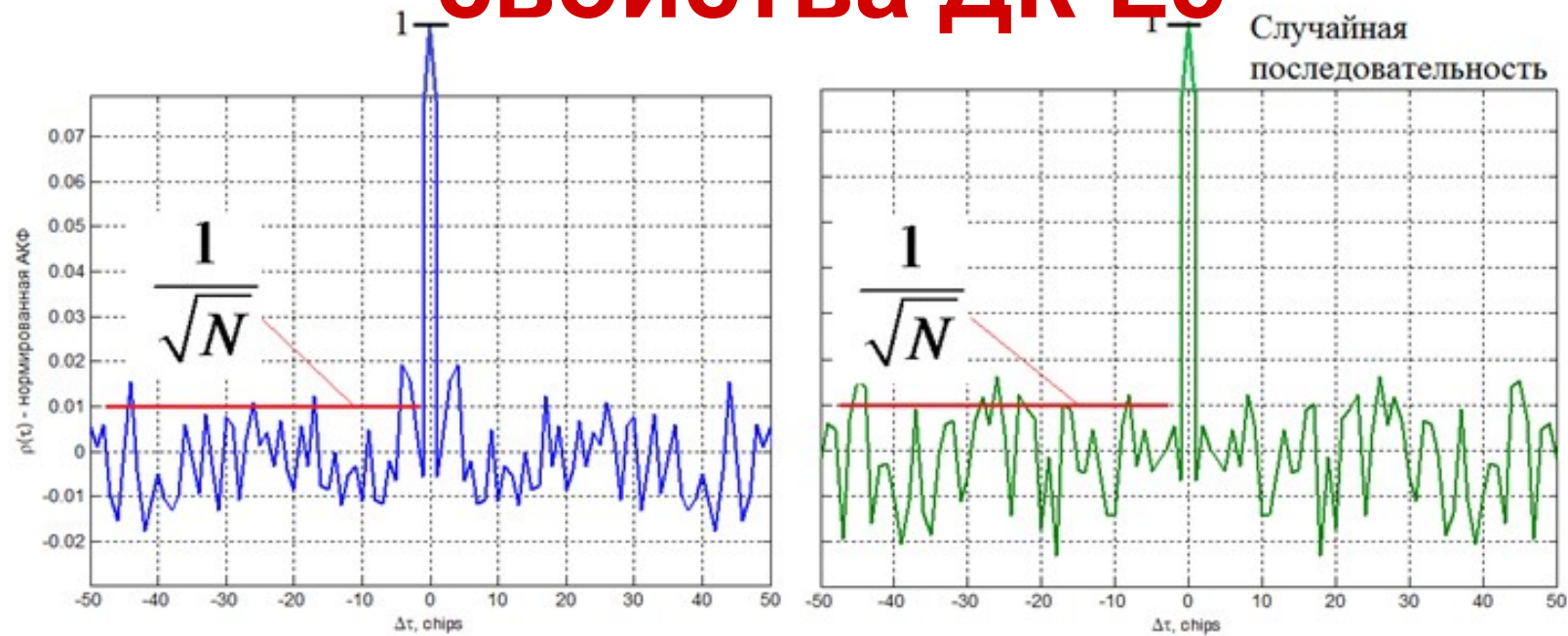
Формирование первичных дальномерных кодов XI, XQ



Дальномерные коды L5 – синхронизация кодов и ЦИ

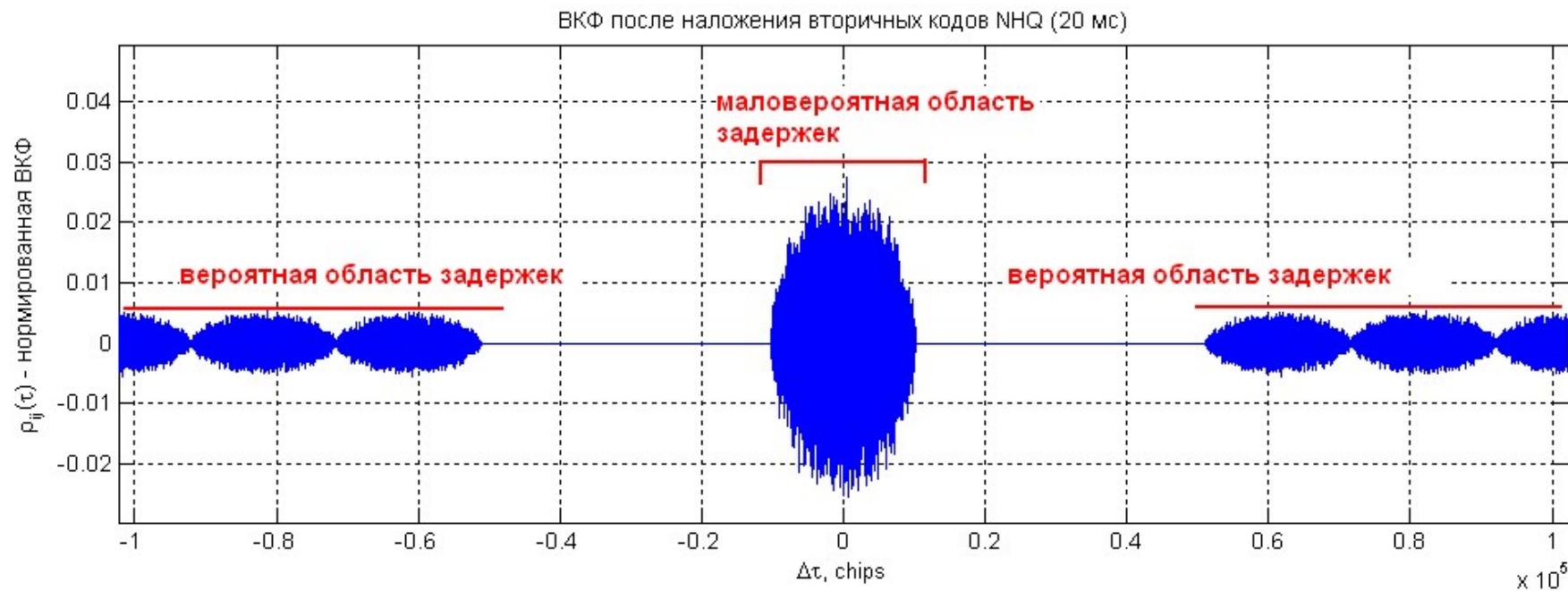


Корреляционные свойства ДК L5



Корреляционные свойства сигналов L5 – ВКФ

Из-за кодового разделения сигналов рассматриваем только ВКФ сигналов по коду. Уровень ВКФ = уровню АКФ при больших отстройках



Навигационное сообщение в сигнале L5 (аналогично L2C)

Информационная скорость: 50 бит/с (в 2 раза быстрее L2C)

Помехоустойчивое кодирование: FEC(133,171) => кодовая скорость 100 бит/с

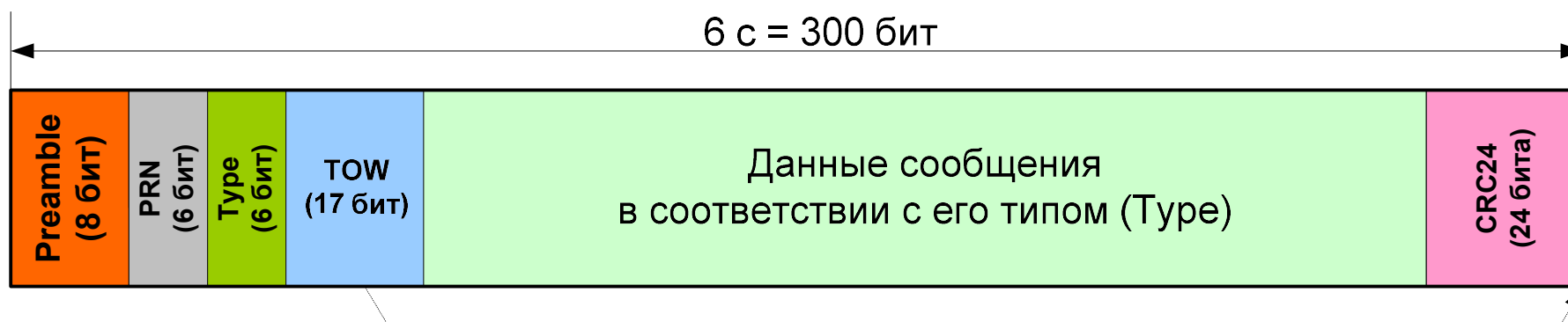
Символьная синхронизация и устранение инверсного приема: оверлейный код 0000110101 на 1 символ ЦИ

Длина строки (message): 6 с = 300 бит

Контроль ошибок: CRC24 (24 бит на строку)

Строковая синхронизация: преамбула 8 бит (0x8B)

Порядок передачи строк: не фиксирован



Сигналы L1C: IS-GPS-800

Количество компонент – 2 (L1Cd – Data, L1Cp - Pilot)

Уплотнение компонент [L1Cd+L1Cp] – простая сумма

Вид модуляции L1Cd: BOC(1,1)

Вид модуляции L1Cp: TМВОС(6,1,4/33) (*См Лк. 6 «Модуляция TМВОС»)

$$s_{L1C,k}(t) = A \cdot \left(\begin{array}{l} G_{D,k}(t) \cdot G_{HC,k}(t) \cdot sc_{(1,1)}(t) + \\ + \sqrt{3} \cdot G_{P,k}(t) \cdot G_{O,k}(t) \cdot sc_{TМВОС}(t) \end{array} \right) \cdot \cos(2\pi f_{L1}t + \varphi_{0L1})$$

$$G_{xxx}(t) = \{\pm 1\}$$

D,P – Дальномерные коды, O – Оверлейный код,
HC – Навигационное сообщение

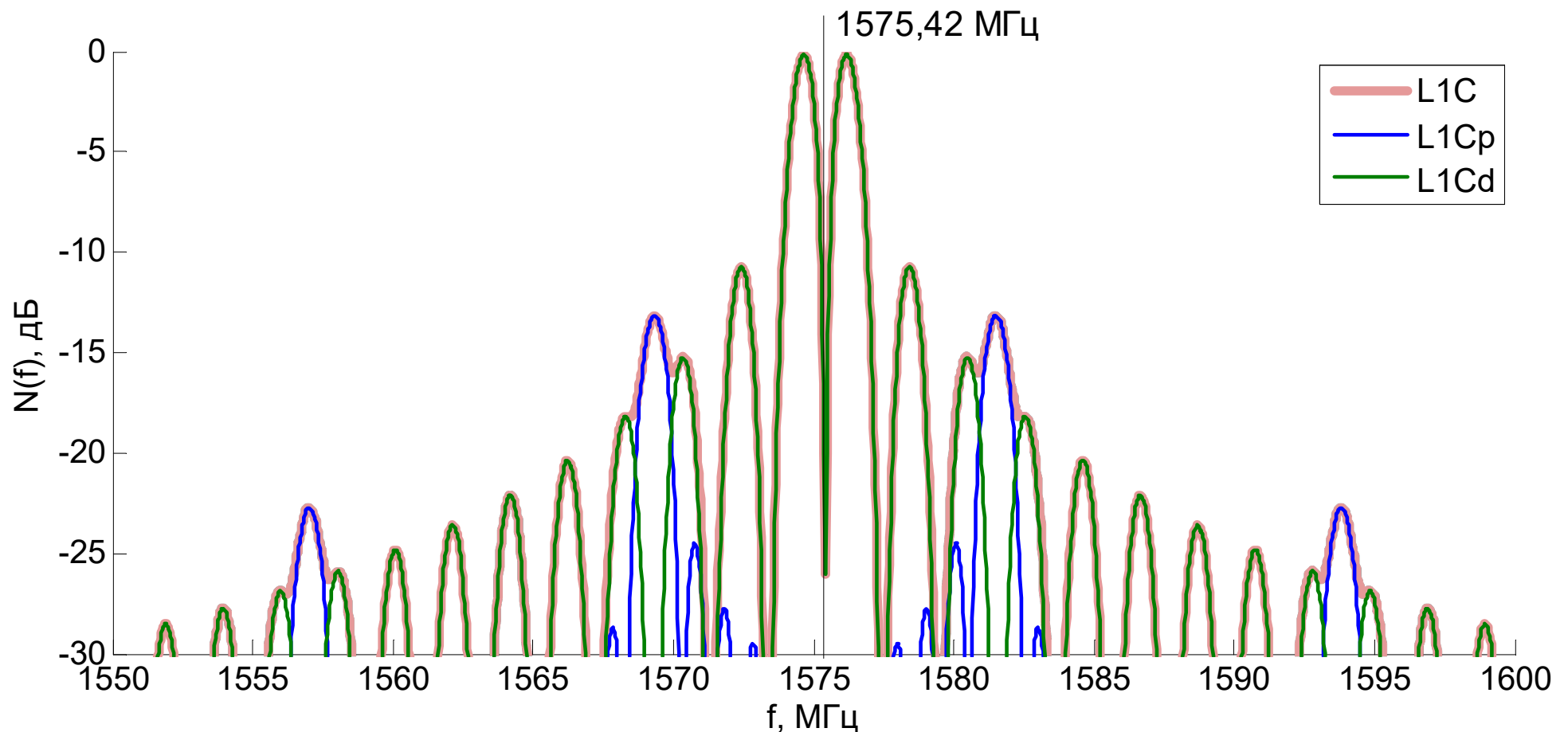
Бинарная последовательность	$sc_{(1,1)}(t)$	$sc_{TМВОС}(t)$	$G_{P,k}(t),$ $G_{D,k}(t)$	$G_{O,k}(t)$	$G_{HC,k}(t)$
Длительность элементарного символа τ_s	1/2046 мс	1/2046 мс 1/12276 мс	1/1023 мс	10 мс	10 мс
Период T	1/1023 мс	33/1023 мс	10230 бит 10 мс	1800 бит 18 с	-

Спектр сигнала L1C.

Спектр сигнала L1C равен сумме спектров в соответствии с видами модуляции:

ВОС(1,1) – с весом $(1+3 \times 29/33)$ и

ВОС(6,1) – с весом $(3 \times 4/33)$



Дальномерные коды сигнала L1C

Первичные дальномерные коды

Тип: Коды Вейла

Период: $T = 10$ мс

Длина кода $L=10230$ бит

Частота выборки символов: $F_T = 1,023$ Мбит/с

Оверлейный код

Тип: укороченный код Голда

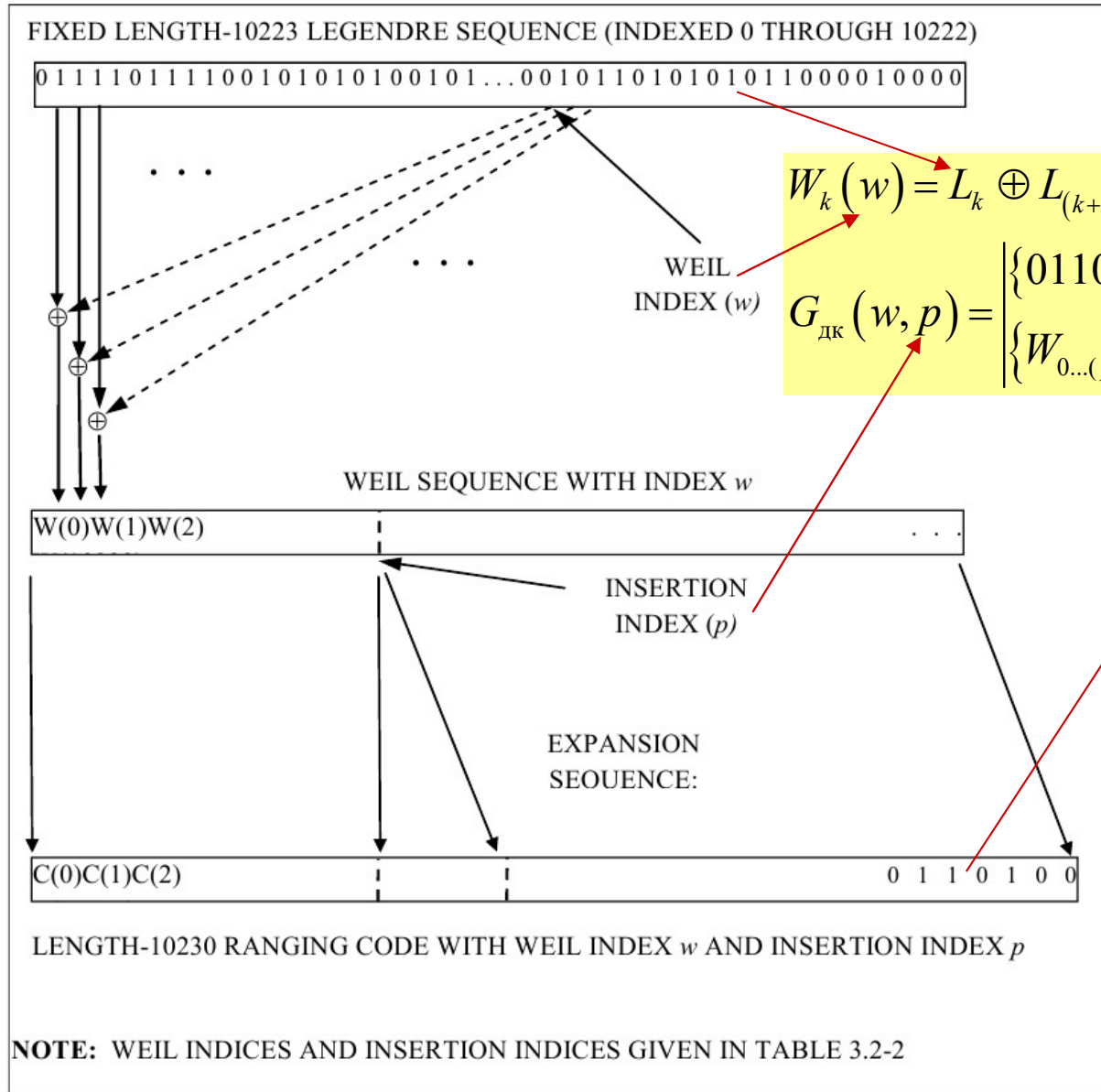
Период: $T_{cl} = 18$ с

Длина кода: $L=1800$ бит

Частота выборки символов: $F_T = 100$ бит/с

Формирование ДК L1С

См: Лк. 5 – «Коды Вейла»



$$W_k(w) = L_k \oplus L_{(k+w) \bmod 10223}, \quad k = 0 \dots 10222$$

$$G_{\text{дк}}(w, p) = \begin{cases} \{0110100, W_{0 \dots 10222}\} & \text{при } p = 1, \\ \{W_{0 \dots (p-2)}(w), 0110100, W_{(p-1) \dots 10222}\} & \text{при } p > 2 \end{cases}$$

Навигационное сообщение в сигнале L1C

Информационная скорость: $883/18 = 49.05(5)$ бит/с

Помехоустойчивое кодирование и устранение инверсного приема:
LDPC + BCH + перемежение

Кодовая скорость: 100 бит/с

Символьная синхронизация и устранение инверсного приема:
дальномерный код (1 период ДК = 1 символ ЦИ)

Длина кадра (message): 18 с \Leftrightarrow 883 бит

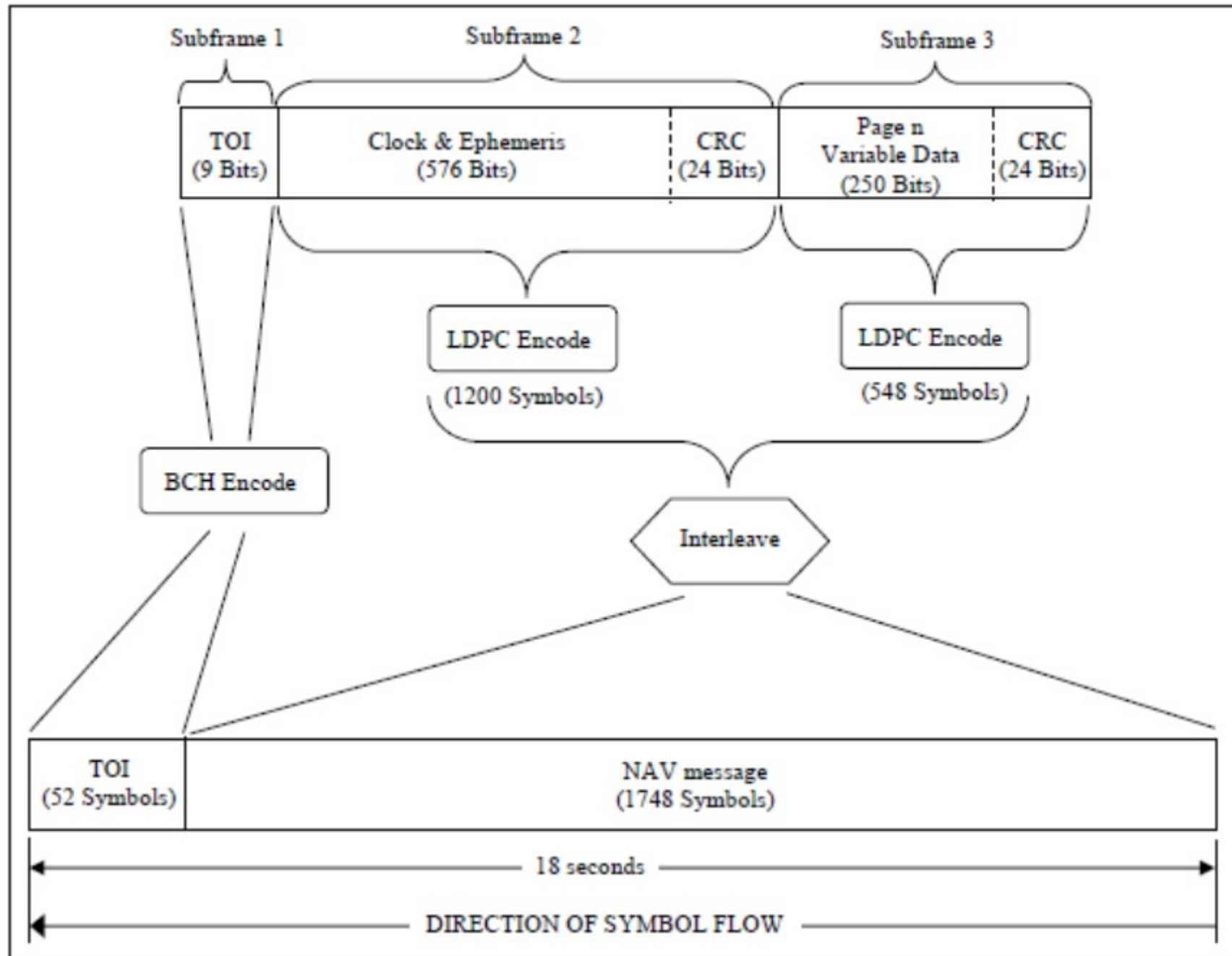
Кол-во строк в кадре (subframes): 3 (9, 600 и 264 бит)

Контроль ошибок: CRC24 (24 бита в строках 2 и 3)

Строковая синхронизация: оверлейный код в pilot-сигнале.

Структура строк 1 и 2 фиксирована, 3 – нет.

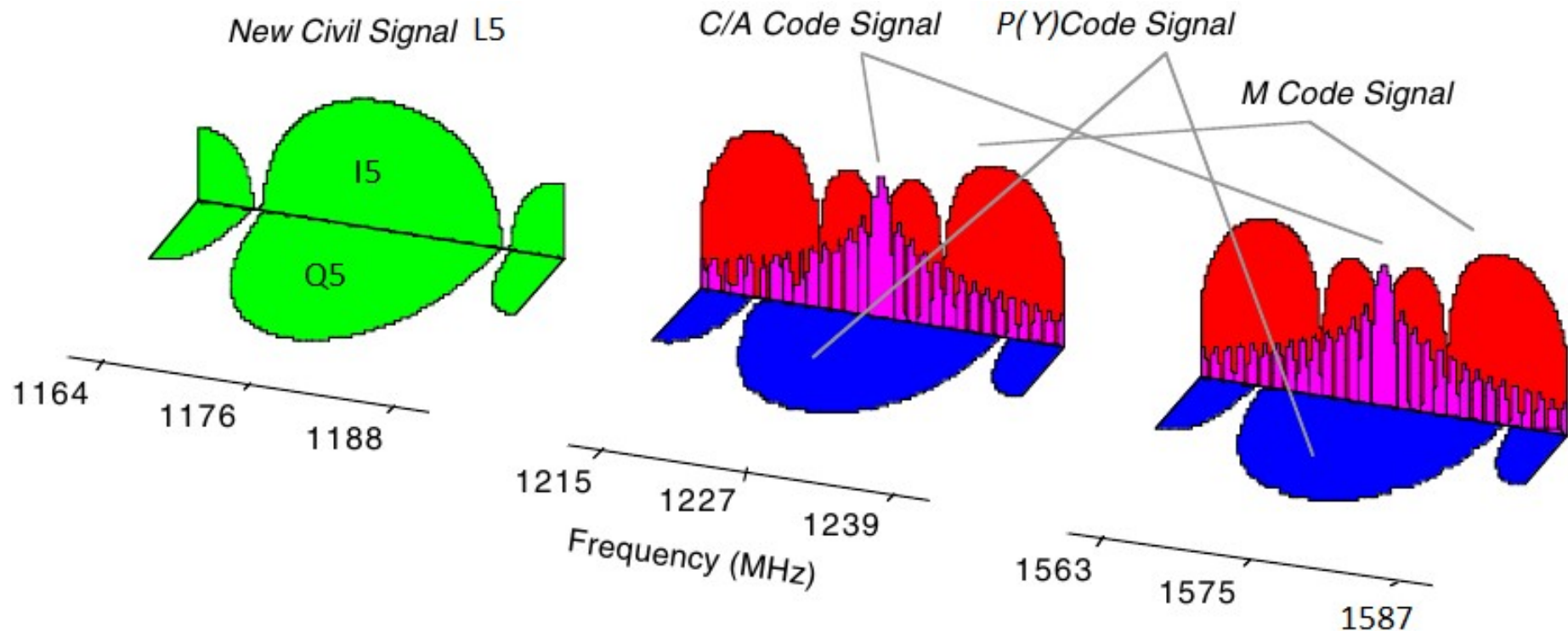
Структура кадра в L1С



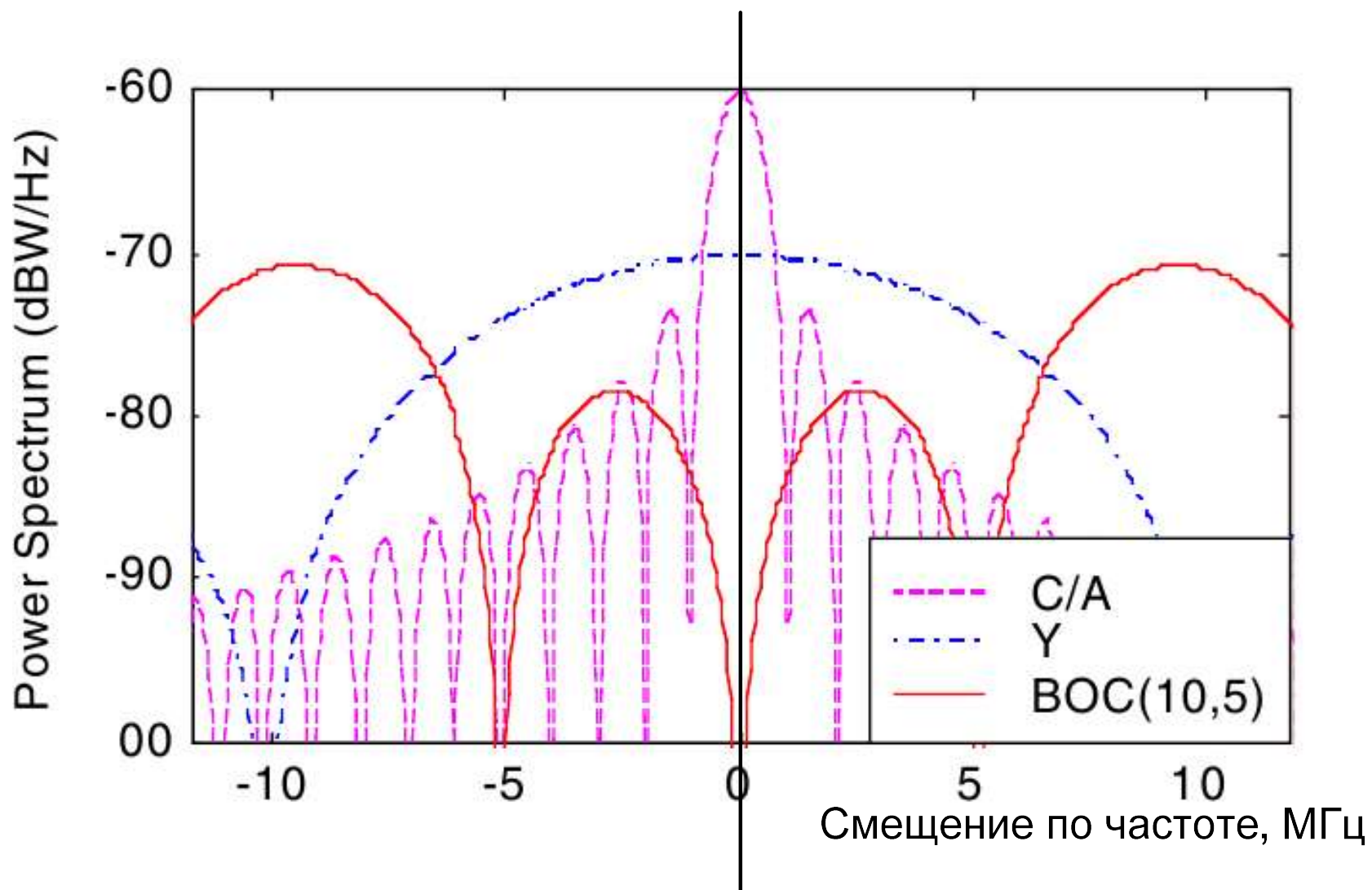
Сигнал с М-кодом в диапазонах L1/L2

Google: "Overview of the GPS M Code Signal"
Brian C. Barker, John W. Betz, ...

Вид модуляции: BOC(10,5)



Спектр сигналов с М-кодом



$$f_{L1} = 1575,42 \text{ МГц}$$

$$f_{L2} = 1227,6 \text{ МГц}$$