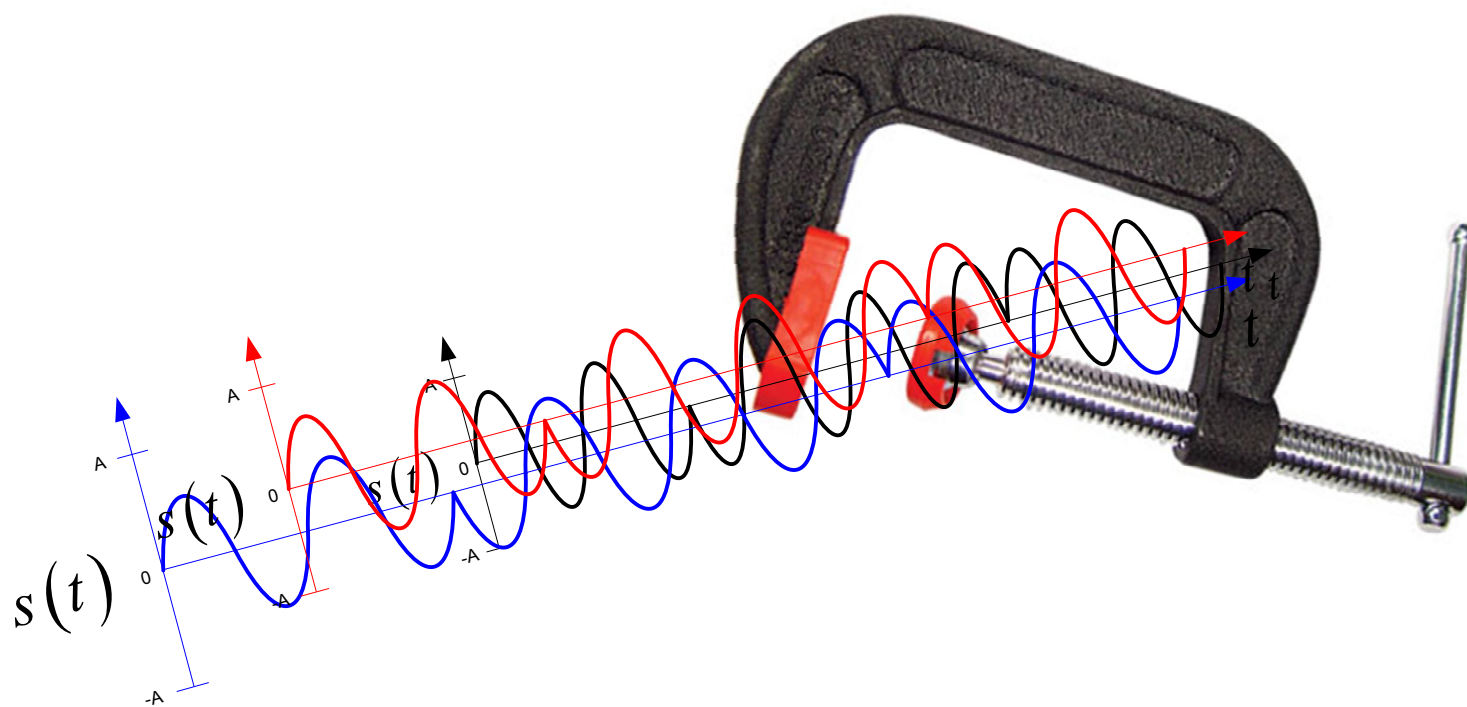


Лекция 6. Методы уплотнения (мультиплексирования) сигналов СРНС



Предпосылки

- Ряд задач невозможно решить в рамках одной «универсальной» структуры радионавигационного сигнала. К таким задачам относятся:

1. Слежение за РНП сигнала с высокой точностью, чувствительностью и помехоустойчивостью
2. Передача навигационного сообщения с высокой скоростью информационного потока
3. Обеспечение санкционированного доступа к радиосигналу и невозможности его «подделки» в постановщике помех (имитостойкость)
4. Упрощение процедуры поиска сигнала в НАП

Это приводит к необходимости передавать несколько сигналов различного назначения в одном радиоканале.

Определение и требования

Уплотнение радиосигналов – это процедура, обеспечивающая передачу нескольких радиосигналов по одному радиоканалу НКА-потребитель с возможностью их раздельной обработки на приемной стороне.

Требования:

- ортогональность компонент уплотненного сигнала (для возможности раздельной обработки на приемной стороне);
- постоянство суммарной огибающей передаваемого уплотненного радиосигнала (из-за особенностей построения передающего тракта НКА).

Концепция Pilot/Data

На одной и той же несущей частоте с борта НКА излучаются два радиосигнала: *пилотный (Pilot)* и *информационный (Data)*

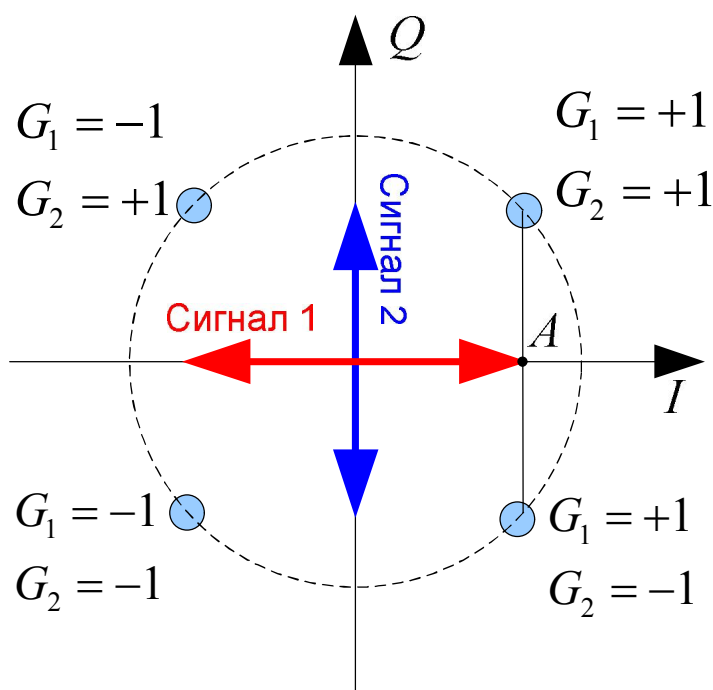
- **Пилотная компонента** не содержит модуляции навигационным сообщением и служит для слежения за РНП с высокой точностью, чувствительностью и помехоустойчивостью.
- **Информационная компонента** предназначена для передачи навигационного сообщения и упрощения поиска сигнала за счет более короткого дальномерного кода.

Примеры двухкомпонентных сигналов Pilot/Data: GPS L2C, GPS L5, ГЛОНАСС L3OC, все перспективные сигналы СРНС.

Квадратурное уплотнение

При квадратурном уплотнении компоненты радиосигнала сдвинуты по фазе несущей на 90° относительно друг друга.

$$s_{\Sigma}(t) = A \cdot \underset{\text{сигнал 1}}{G_1(t)} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + A \cdot \underset{\text{сигнал 2}}{G_2(t)} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$



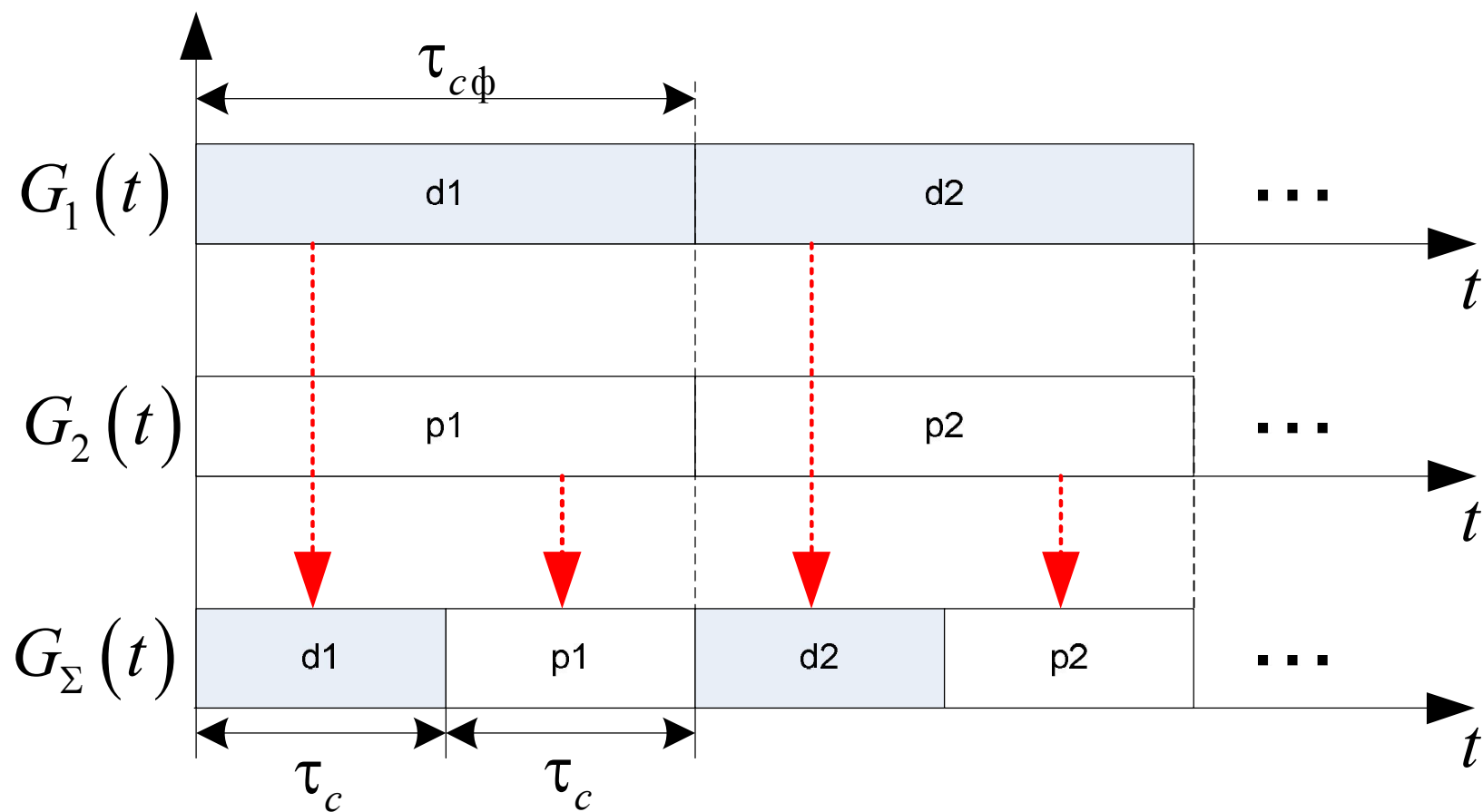
При одинаковой амплитуде компонент автоматически обеспечивается постоянство огибающей суммарного радиосигнала.

Квадратурно уплотненный сигнал иногда называют сигналом с квадратурной модуляцией **QPSK(n)** (Quadrature Phase Shift Keying), где n – частота выборки символов ДК в единицах базовой частоты 1,023 МГц.

Примеры: ГЛОНАСС (L1OF-L1SF) и L3OC; GPS (C/A-P/Y) и L5; Beidou (B1I-B1Q)

Временное уплотнение

При временном уплотнении компоненты радиосигнала передаются в разные непересекающиеся промежутки времени. Эти промежутки очень малы и как правило соответствуют символам ДК.



Временное уплотнение

Математическая запись двухкомпонентного сигнала с временным уплотнением:

$$s_{\Sigma}(t) = A \cdot G_{\Sigma}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$
$$G_{\Sigma}(t) = \begin{cases} G_1(t), & \text{при } 0 \leq (t \bmod (2\tau_c)) < \tau_c, \\ G_2(t), & \text{при } \tau_c \leq (t \bmod (2\tau_c)) < 2\tau_c, \end{cases}$$

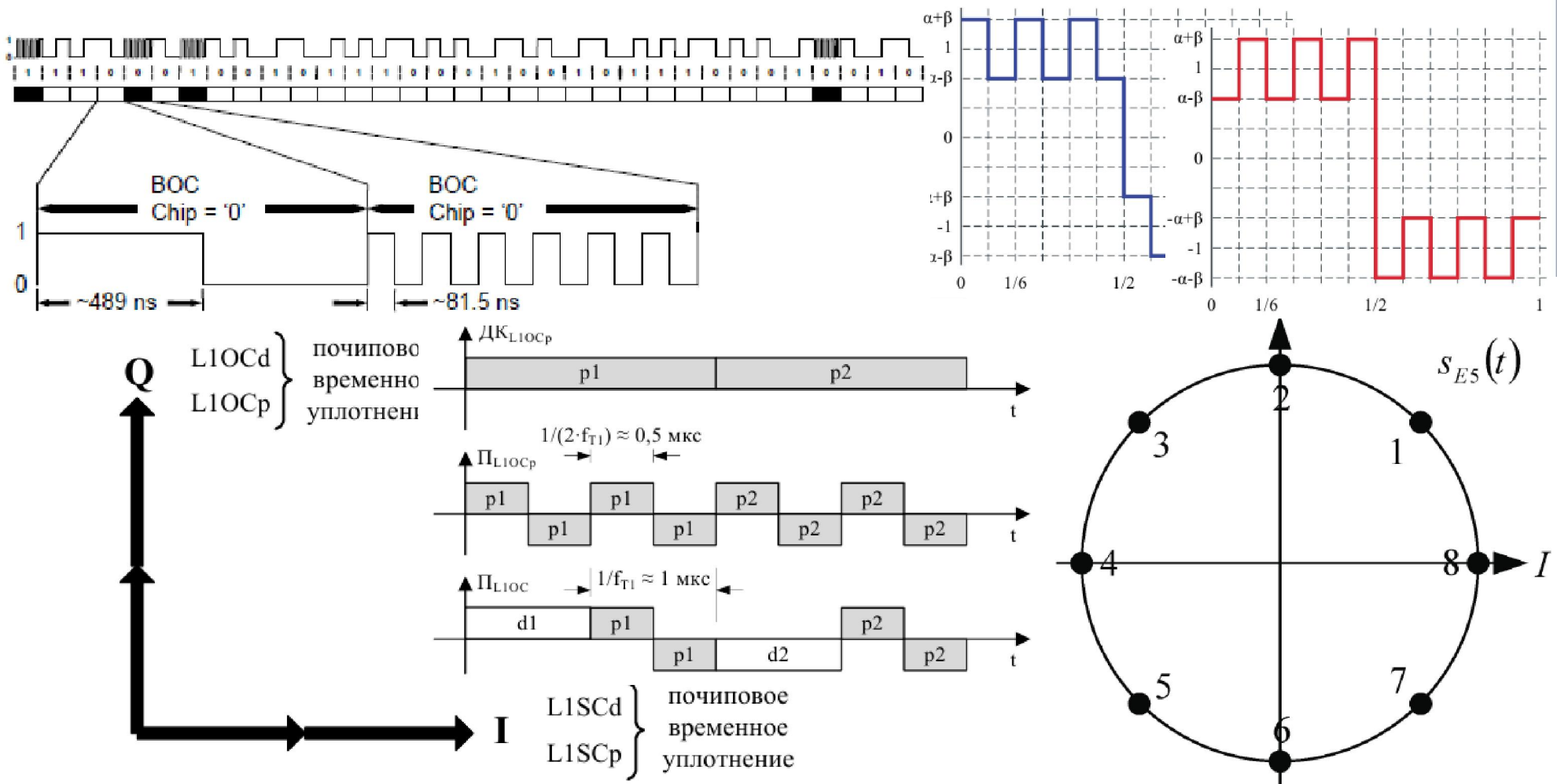
$G_1(t), G_2(t)$ - модулирующие цифровые последовательности, принимающие значения ± 1 и учитывающие как дальномерный код, так (возможно) и навигационное сообщение, оверлейный код, и/или цифровую поднесущую.

- По сути, временное уплотнение сигналов присутствует только в суммарной цифровой огибающей.

Примеры: GPS L2C; ГЛОНАСС L10C, L20C, L15C, L25C.

Во всех случаях $G_1(t)$ – Data, $G_2(t)$ – Pilot.

Комбинированные виды уплотнения



Квадратурно-временное уплотнение сигналов ГЛОНАСС с кодовым разделением

На «новой» несущей L1 (1600,995 МГц) будет передаваться по 4 (!!!) сигнала с каждого НКА ГЛОНАСС-K2:

1. L1OCd (информационная компонента открытого сигнала)
2. L1OCp (пилотная компонента открытого сигнала)
3. L1SCd (информационная компонента санкционированного сигнала)
4. L1SCp (пилотная компонента санкционированного сигнала)

На «новой» несущей L2 (1248,06 МГц) будет передаваться 4 аналогичных сигнала: L2SCd, L2SCp, L2КСИ, L2OCp.

Квадратурно-временное уплотнение сигналов ГЛОНАСС с кодовым разделением

Математическая запись четырехкомпонентного сигнала ГЛОНАСС с квадратурно-временным уплотнением:

$$s_{\Sigma}(t) = A \cdot G_{SC}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + A \cdot G_{OC}(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

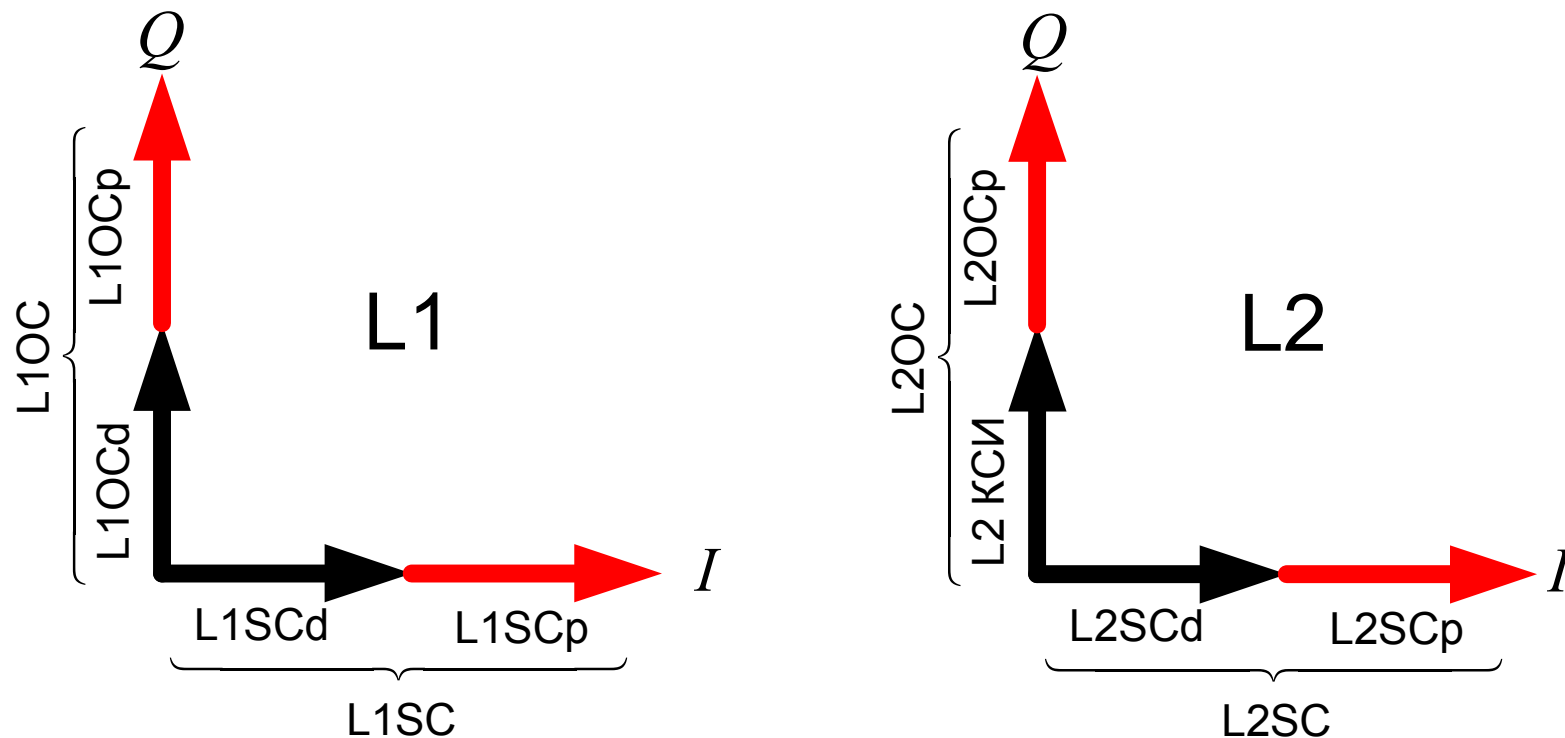
$$G_{SC}(t) = \begin{cases} G_{SCd}(t), & \text{при } 0 \leq (t \bmod (2\tau_S)) < \tau_S, \\ G_{SCp}(t), & \text{при } \tau_S \leq (t \bmod (2\tau_S)) < 2\tau_S, \end{cases}$$

$$G_{OC}(t) = \begin{cases} G_{OCd}(t), & \text{при } 0 \leq (t \bmod (2\tau_O)) < \tau_O, \\ G_{OCp}(t), & \text{при } \tau_O \leq (t \bmod (2\tau_O)) < 2\tau_O, \end{cases}$$

$$\tau_S = 1 / (2.5 \cdot 1023) \text{ мс}, \quad \tau_O = 1 / 1023 \text{ мс}.$$

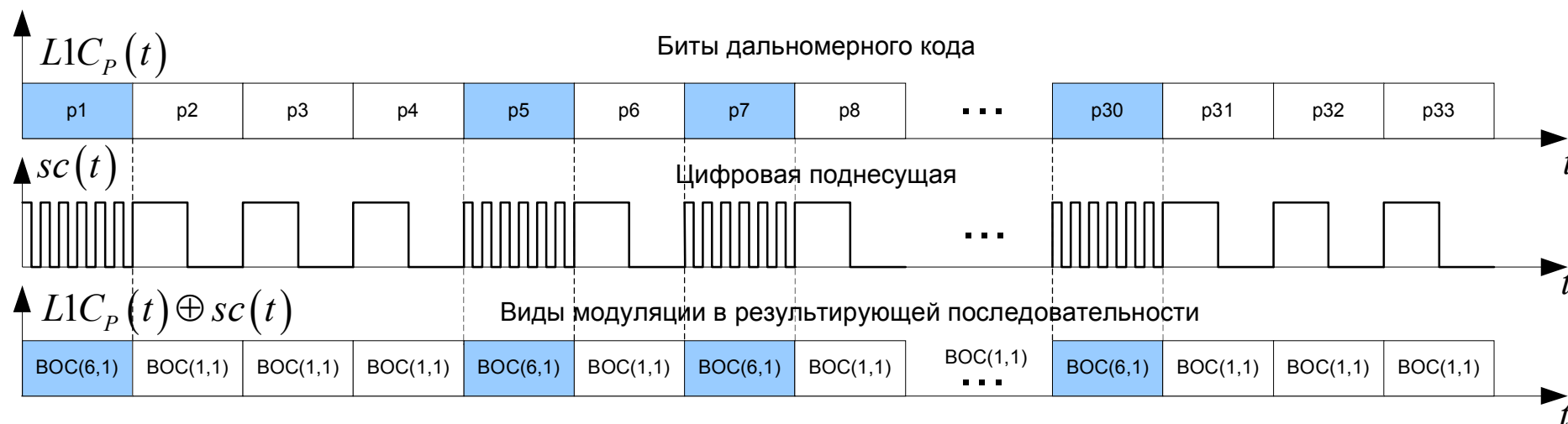
Квадратурно-временное уплотнение сигналов ГЛОНАСС с кодовым разделением

Схематическое обозначение уплотненных сигналов в диапазонах L1 и L2:



Модуляция TMBOC в сигнале GPS L1C

В сигнале GPS L1C используется простое суммирование пилотной и информационной компоненты без сохранения постоянства огибающей. Однако пилотная компонента имеет дополнительное **уплотнение вида модуляции**, который называется TMBOC(6,1,4/33).



Смысл модуляции TMBOC(6,1,4/33):

- TMBOC = Time Multiplexed VOC;
- 4/33 символов ДК модулированы цифровой поднесущей по закону VOC(6,1), остальные 29/33 символов ДК модулированы цифровой поднесущей по закону VOC(1,1).

Модуляция СВОС

в сигнале Galileo E1-B/C

В сигнале Galileo E1-B/C используется суммирование пилотной и информационной компоненты без сохранения постоянства огибающей. Обе компоненты имеют дополнительное **уплотнение вида модуляции**, который называется СВОС(6,1,1/11).

Выражение для огибающей сигнала:

$$s_{E1}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} G_B(t) G_{HC}(t) \cdot \left(\alpha \cdot sc_{(1,1)}(t) + \beta \cdot sc_{(6,1)}(t) \right) -$$

E1-B

$$- \frac{1}{\sqrt{2}} G_C(t) G_O(t) \cdot \left(\alpha \cdot sc_{(1,1)}(t) - \beta \cdot sc_{(6,1)}(t) \right),$$

E1-C

$$\alpha = \sqrt{10/11}, \quad \beta = \sqrt{1/11}.$$

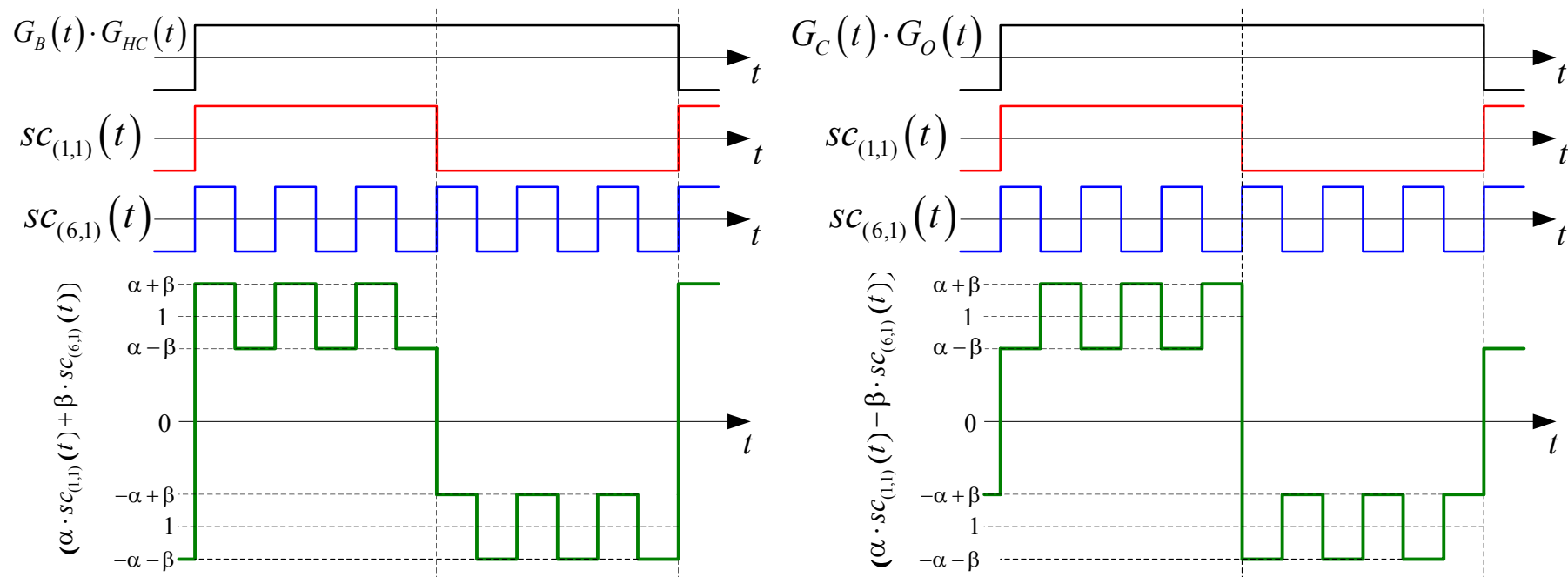
E1-B – информационная компонента

E1-C – пилотная компонента

Модуляция СВОС в сигнале Galileo E1-B/C

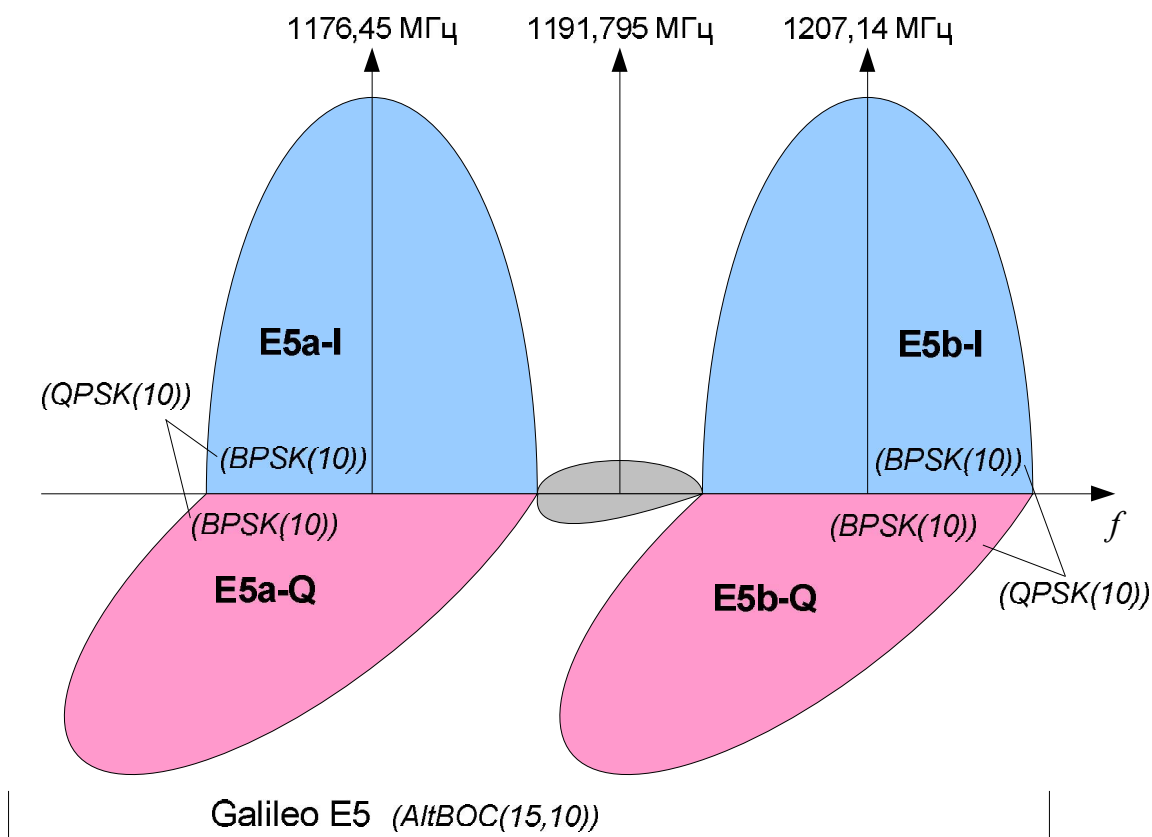
Смысл модуляции СВОС(6,1,1/11):

- СВОС = Composite BOC;
- 1/11 мощности сигнала отдана на модуляцию BOC(6,1), остальные 10/11 мощности отданы на модуляцию BOC(1,1);
- распределение мощности сигнала по разным видам модуляции достигается за счет применения специальных модулирующих функций: $(\alpha \cdot sc_{(1,1)}(t) + \beta \cdot sc_{(6,1)}(t))$ и $(\alpha \cdot sc_{(1,1)}(t) - \beta \cdot sc_{(6,1)}(t))$



Модуляция AltBOC в сигнале Galileo E5

Радиосигналы Galileo E5a и E5b образуют единый радиосигнал Galileo E5 с видом модуляции AltBOC(15,10), в котором уплотнено 4 независимых радиосигнала: E5a-I, E5a-Q, E5b-I, E5b-Q.



Модуляция AltBOS в сигнале Galileo E5

Комплексная огибающая составного радиосигнала Galileo E5:

$$\begin{aligned} \dot{s}_{E5}(t) = & \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(e_{E5a-I}(t) + je_{E5a-Q}(t) \right) \left[sc_{E5-S}(t) - jsc_{E5-S}(t - T_{s,E5}/4) \right] + \\ & + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(e_{E5b-I}(t) + je_{E5b-Q}(t) \right) \left[sc_{E5-S}(t) + jsc_{E5-S}(t - T_{s,E5}/4) \right] + \\ & + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\bar{e}_{E5a-I}(t) + j\bar{e}_{E5a-Q}(t) \right) \left[sc_{E5-P}(t) - jsc_{E5-P}(t - T_{s,E5}/4) \right] + \\ & + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\bar{e}_{E5b-I}(t) + j\bar{e}_{E5b-Q}(t) \right) \left[sc_{E5-P}(t) + jsc_{E5-P}(t - T_{s,E5}/4) \right], \end{aligned}$$

Битовые потоки 4-х сигнальных компонент:

- информационные: E5a-I, E5b-I;
- пилотные: E5a-Q, E5b-Q.

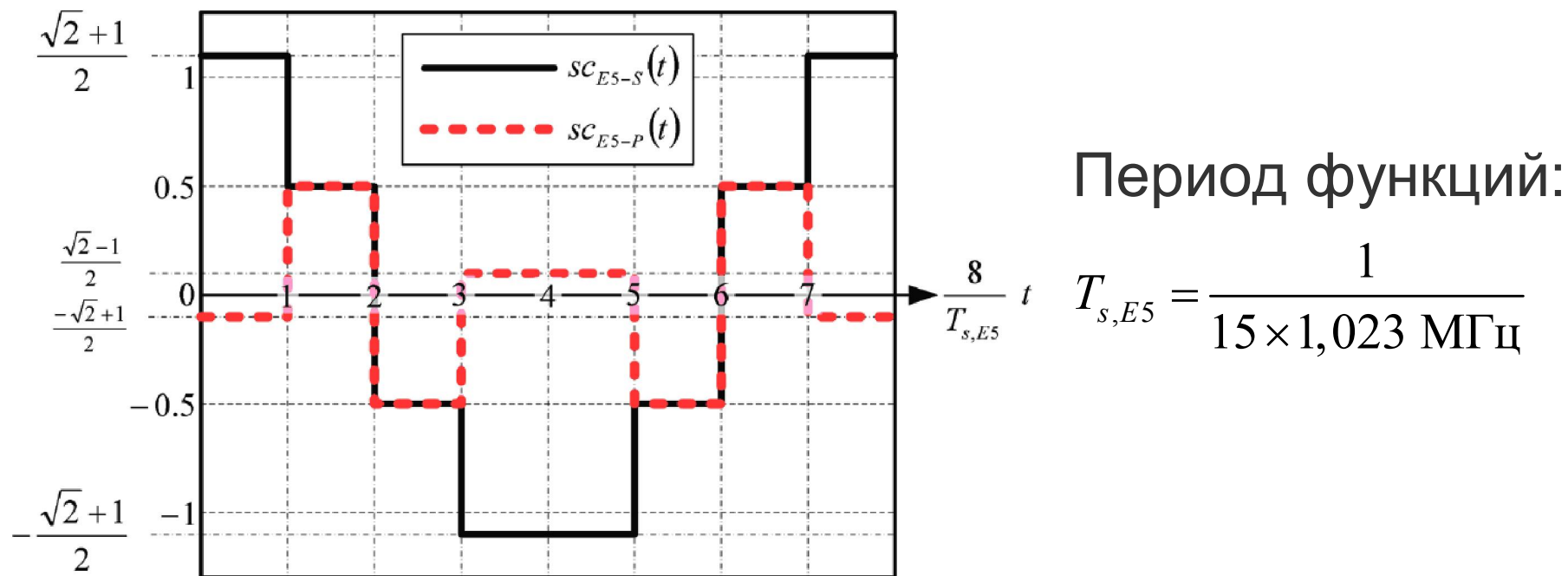
Комбинации (XOR)
всех битовых
потоков исключая
индексные:

$$\bar{e}_{E5a-I} = e_{E5a-Q} e_{E5b-I} e_{E5b-Q}$$

Составные
модулирующие
функции
(всего 2 шт.)

Модуляция AltBOS в сигнале Galileo E5

Составные модулирующие функции:



Смысл модуляции AltBOS(15,10):

- Частота составных модулирующих функций равна (15x1,023) МГц;
- Частота выборки символов ДК равна (10x1,023) МГц
- Модуляция AltBOS(15,10) позволяет уплотнить 4 радиосигнала так, что «с точки зрения» НАП они все имеют модуляцию BPSK(10).