

4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИГНАЛЫ СПУТНИКОВЫХ РА- ДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

4.1 Вводные замечания

Информация с навигационного спутника, принимаемая аппаратурой потребителя представляет собой количественные значения определенных параметров, например, координат, скорости, ускорения, времени. Эта информация передается в определенном формате, представляющем последовательности нулей и единиц, которыми модулируется электромагнитные колебания. После демодуляции в аппаратуре потребителя переданная информация обрабатывается по специальным алгоритмам.

В повседневной практике мы обычно имеем дело с десятичными числами. В технических системах, в частности, радиотехнике и цифровой технике приняты двоичные числа т.е. 0 и 1. Это связано с тем, что аппаратно два состояния реализовать значительно проще. Например, фазовая модуляция, 0 и 180° имеет два состояния, а дальше можно условиться, что при фазе равной нулю будет двоичная 1, а при фазе равной 180°, двоичный 0.

Десятичному числу можно всегда найти двоичное. Для целых чисел процедура перехода выглядит следующим образом:

$$1, \frac{A}{16}, \frac{A}{8}, \frac{A}{4}, \frac{A}{2} \leftarrow A$$

или

$$1, \frac{A}{2^n}, \frac{A}{2^3}, \frac{A}{2^2}, \frac{A}{2^1} \leftarrow A,$$

где A – целое десятичное число. Слева от A записаны разряды двоичного числа. Если $A/2^i$ делится без остатка, то в данном разряде 0, если с остатком, то 1.

Например,

$$1, \frac{15}{2^3}, \frac{15}{2^2}, \frac{15}{2^1} \leftarrow 15$$

Двоичное число будет 1111. Перед двоичным числом может быть поставлено любое количество нулей, при этом десятичное число не изменится.

Из операций с двоичными числами нам потребуются только две: сложение двоичных чисел по модулю 2 и умножение двоичных чисел по модулю 2. Сложение по модулю 2 обозначается символом \oplus , умножение \otimes .

Правило сложения:

\oplus	1	0
1	0	1
0	1	0

$$1 \oplus 1 = 0 \oplus 0 = 0,$$

$$1 \oplus 0 = 0 \oplus 1 = 1.$$

Правило умножения :

\otimes	0	1
0	0	0
1	0	1

$$0 \otimes 0 = 1 \otimes 0 = 0 \otimes 1 = 0,$$

$$1 \otimes 1 = 1.$$

Для получения высокой точности измерений, повышенной помехоустойчивости в спутниковых радионавигационных системах используют шумоподобные фазоманипулированные сигналы.

Фазоманипулированный сигнал представляет собой последовательность радиоимпульсов со значениями начальных фаз 0 и π .

В спутниковой навигационной системе ГЛОНАСС для формирования кода стандартной точности применяется последовательность максимальной длины или М-последовательность.

Последовательность максимальной длины формируется с помощью линейного n-рядного сдвигающего регистра.

Количество символов в последовательности равно $2^n - 1$ (n- число разрядов регистра). Период последовательности максимальной длины $T_{max} = 2^n - 1$ т.е. последовательность периодична и в каждом периоде одинакова.

Свойства последовательности максимальной длины :

1. В периоде последовательности число 0 и 1 отличается на 1, единиц больше.
2. Свойство корреляции – нормированная автокорреляционная функция М – последовательности подобна этой же функции белого шума при больших М и длительностях не кратных М.
3. Сумма по модулю 2 двух сдвинутых М – последовательностей является М – последовательностью.

М – последовательность является продуктом генерации псевдослучайной последовательности.

Критерием для определения М – последовательности максимальной длины служит неприводимость полинома вида

$$1 + X^m + X^n$$

и его первичность на поле Галуа .

В указанном полиноме показатели степени n и m для M – последовательности максимальной длины представлены в таблице .

n	3	4	5	6	7	9	10	11	15	17	18	20	12
m	2	3	3	5	6	5	7	9	14	14	11	17	19
L_{max}	7	15	31	63	127	511	1023	2047	32767	131071	262143	1048575	2097151

Рассмотрим пример генератора псевдослучайной последовательности . Он состоит из четырех последовательных регистров A, B, C, D т.е. $n = 4$, A – первый, B, C, D – второй, третий и четвертый регистры соответственно . Цифровые сигналы регистра D и регистра C (4 и 3 соответственно) поступают на сумматор по модулю 2, суммируются по модулю 2 и поступают на вход регистра сдвига . Имеет место цепь обратной связи .

Количество состояний регистра сдвига, т.е. количество комбинаций нулей и единиц равно 2^n . Однако, состояние когда в регистре все нули исключаются, поскольку в этом случае генерации нет .

В нашем примере количество состояний равно $2^4 - 1 = 15$ и максимальная M – последовательность представляет 15 символов, период ее равен 15 и через этот период последовательность повторяется . На рис. 4.1 приведены состояния регистров, M – последовательность (рис. 4.1, а – вертикальная линия), на рис. 4.1, б показаны два периода M – последовательности, рис. 4.1, в иллюстрирует четыре выборки длиной в 1 период сдвинутые на несколько символов . Можно убедиться, что в любых двух выборках число совпадений на единицу меньше числа несовпадений .

Фазоманипулированные сигналы в спутниковых навигационных системах состоят из радиоимпульсов, начальные фазы которых принимают значения 0 или π .

Между начальными фазами радиосигнала и значениями элементов кодовой последовательности вводится соответствие, например, начальной фазе радиосигнала равной нулю ставится в соответствие символ кодовой последовательности «1» а начальной фазе π (180°) – символ «-1» .

A	B	C	D	РАЗРЯДЫ РЕГИСТРА	
1	1	1	1	Начальное состояние регистра	ТРИ
0	1	1	1	1	1 ПЕРИОД
0	0	1	1	1	
0	0	0	1	1	
1	0	0	0	1	
0	1	0	0	0	
0	0	1	0	0	
1	0	0	1	0	
1	1	0	0	1	
0	1	1	0	0	
1	0	1	1	0	
0	1	0	1	1	
1	0	1	0	1	
1	1	0	1	0	
1	1	1	0	1	
1	1	1	1	0	
0	1	1	1	1	2 ПЕРИОД
0	0	1	1	1	
0	0	0	1	1	
1	0	0	0	1	
0	1	0	0	0	
0	0	1	0	0	
1	0	0	1	0	
1	1	0	0	1	
0	1	1	0	0	
1	0	1	1	0	
0	1	0	1	1	
1	0	1	0	1	
1	1	0	1	0	
1	1	1	0	1	
0	1	1	1	1	
0	0	1	1	1	3 ПЕРИОД
0	0	0	1	1	
1	0	0	0	1	
0	1	0	0	0	
0	0	1	0	0	
1	0	0	1	0	
1	1	0	0	1	
0	1	1	0	0	
1	0	1	1	0	
0	1	0	1	1	
1	0	1	0	1	
1	1	0	1	0	
1	1	1	0	1	
1	1	1	1	0	

а)

1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0

б)

1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	Слева приведены выборки из трех периодов последовательности сдвинутые на несколько символов
1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	
1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	

в)

Рис. 4.1. Последовательность максимальной длины

Пусть фазоманипулированный сигнал имеет вид

$$U(t) = \cos(\omega t + v\pi) \quad (4.1)$$

на интервале времени, в течение которого передается символ информации v принимает значение 0 или π .

Правую часть (4.1) можно разложить

$$\cos(\omega t + v\pi) = \cos(\omega t) \cdot \cos(v\pi) - \sin(\omega t) \cdot \sin(v\pi) \quad (4.2)$$

Если $v = 0$, то

$$\cos(\omega t + v\pi) = 1 \cdot \cos(\omega t),$$

если $v = \pi$, то

$$\cos(\omega t + v\pi) = -1 \cdot \cos(\omega t).$$

Или в общем виде фазоманипулированный сигнал запишется

$U(t) = a \cdot \cos(\omega t)$, где на время приема информационного импульса индекс "а" принимает значения "1" или "-1".

Теперь примем этот сигнал с помощью схемы смесителя. В смесителе происходит перемножение сигналов и фильтрация.

$$U(t) \cdot U_{\text{опор}}(t) = a \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\omega t + \varphi_{\text{он}}) = \frac{1}{2} a \cdot \cos(\omega t - \varphi_{\text{он}}) + \frac{1}{2} a \cdot \cos(2\omega t + \varphi_{\text{он}}) \quad (4.3)$$

В выражении (4.3) второе слагаемое фильтруется, а оставшаяся часть запишется в виде:

$$a \cdot \cos(-\varphi_{\text{он}}) \quad (4.4)$$

На время действия импульса индекс "а" принимает значения "1" или "-1".

Если $\varphi_{\text{он}}$ во время детектирования стабильна, то последовательность символов будет приниматься правильно, если же $\varphi_{\text{он}}$ получит (скачок) фазы на $\pm \pi$, то будет иметь место ошибочный прием последовательности символов.

Для уменьшения этого явления применяют прием относительной фазовой манипуляции. Суть метода состоит в том, что фаза отсчитывается не относительно начальной фазы,

т.е. фазы сигнала, когда начался прием последовательности информационных символов, а относительно фазы предыдущего импульса.

Реализация этого метода осуществляется посредством перекодировки исходной последовательности информационных символов по следующему алгоритму:

$$a_{\text{ВЫХ } i} = a_{\text{ВХ } i} \oplus a_{\text{ВЫХ } i-1}, \quad (4.5)$$

$$a_{\text{ВЫХ } i-1} \oplus a_{\text{ВЫХ } i} = a_{\text{ВХ } i}, \quad (4.6)$$

где:

$a_{\text{ВХ } i}$ – входная последовательность символов при передаче [выражение (4.5)],

$a_{\text{ВЫХ } i}$ – выходная последовательность символов при приеме [выражение (4.6)].

При приеме последовательности символов применяется алгоритм (4.6), в котором $a_{\text{ВЫХ } i}$ присутствует на входе приемного устройства, а $a_{\text{ВХ } i}$ на выходе.

Рассмотрим пример: пусть мы хотим перекодировать пять символов при передаче. Входная последовательность запишется $a_{\text{ВХ } 1}, a_{\text{ВХ } 2}, a_{\text{ВХ } 3}, a_{\text{ВХ } 4}, a_{\text{ВХ } 5}$; выходная $a_{\text{ВЫХ } 1}, a_{\text{ВЫХ } 2}, a_{\text{ВЫХ } 3}, a_{\text{ВЫХ } 4}, a_{\text{ВЫХ } 5}$.

Алгоритм (4.5)

$$a_{\text{ВЫХ } 1} = a_{\text{ВХ } 1} \oplus a_{\text{ВЫХ } 0}$$

$$a_{\text{ВЫХ } 2} = a_{\text{ВХ } 2} \oplus a_{\text{ВЫХ } 1}$$

$$a_{\text{ВЫХ } 3} = a_{\text{ВХ } 3} \oplus a_{\text{ВЫХ } 2}$$

$$a_{\text{ВЫХ } 4} = a_{\text{ВХ } 4} \oplus a_{\text{ВЫХ } 3}$$

$$a_{\text{ВЫХ } 5} = a_{\text{ВХ } 5} \oplus a_{\text{ВЫХ } 4}$$

В числовом виде это выглядит так

$$a_{\text{ВХ } 1} = 1; \quad a_{\text{ВЫХ } 1} = 1 \oplus 0 = 1;$$

$$a_{\text{ВХ } 2} = 1; \quad a_{\text{ВЫХ } 2} = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$a_{\text{ВХ } 3} = 1; \quad a_{\text{ВЫХ } 3} = 1 \oplus 0 = 1;$$

$$a_{\text{ВХ } 4} = 0; \quad a_{\text{ВЫХ } 4} = 0 \oplus 1 = 1;$$

$$a_{\text{ВХ } 5} = 1; \quad a_{\text{ВЫХ } 5} = 1 \oplus 1 = 0;$$

$$a_{\text{ВХ}} \cdot \quad \longrightarrow \quad 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1;$$

$$a_{\text{ВЫХ}} \cdot \quad \longrightarrow \quad 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0.$$

Обратная процедура по алгоритму (4.6):

$$a_{\text{ВЫХ}0} \oplus a_{\text{ВЫХ}1} = a_{\text{ВХ}1}; a_{\text{ВХ}1} = 1 \oplus 0 = 1;$$

$$a_{\text{ВЫХ}1} \oplus a_{\text{ВЫХ}2} = a_{\text{ВХ}2}; a_{\text{ВХ}2} = 0 \oplus 1 = 1;$$

$$a_{\text{ВЫХ}2} \oplus a_{\text{ВЫХ}3} = a_{\text{ВХ}3}; a_{\text{ВХ}3} = 1 \oplus 1 = 1;$$

$$a_{\text{ВЫХ}3} \oplus a_{\text{ВЫХ}4} = a_{\text{ВХ}4}; a_{\text{ВХ}4} = 1 \oplus 0 = 0;$$

$$a_{\text{ВЫХ}4} \oplus a_{\text{ВЫХ}5} = a_{\text{ВХ}5}; a_{\text{ВХ}5} = 1.$$

Алгоритм (4.5) реализуется сумматором по модулю 2 с обратной связью рис. 4.2

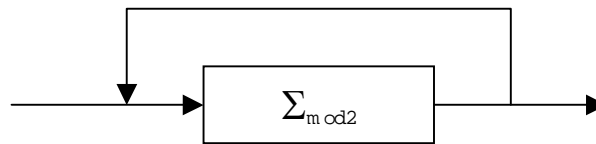


Рис. 4.2. Сумматор по модулю 2 с обратной связью

Алгоритм (4.6) реализуется сумматором по модулю 2 (рис. 4.3)

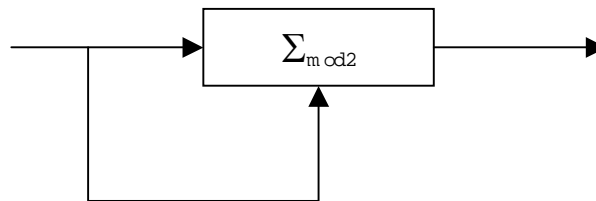


Рис. 4.3. Сумматор по модулю 2

4.2. Интерфейсы ГЛОНАСС и GPS

Интерфейс между подсистемой навигационных спутников и аппаратурой потребителей состоит из радиолиний L-диапазона частот [2]. Каждый спутник ГЛОНАСС передает навигационные радиосигналы в двух частотных поддиапазонах (L1 ~ 1,6 ГГц и L2 ~ 1,2 ГГц).

В ГЛОНАСС используется частотное разделение навигационных радиосигналов спутников в обоих поддиапазонах L1 и L2. Каждый спутник передает навигационные радиосигналы на собственных частотах поддиапазонов L1 и L2. Спутники, находящиеся в противоположных точках орбитальной плоскости (антиподные спутники), могут передавать навигационные радиосигналы на одинаковых частотах.

В радиолиниях частотных поддиапазонов L1 и L2 спутники ГЛОНАСС передают навигационные радиосигналы : стандартной точности и высокой точности.

Сигнал стандартной точности с тактовой частотой 0,511 МГц предназначен для использования гражданскими потребителями.

Сигнал высокой точности с тактовой частотой 5,11 МГц модулирован специальным кодом и не рекомендуется к использованию без согласования с Министерством обороны Российской Федерации.

В ГЛОНАСС не используется режим преднамеренного ухудшения характеристик навигационного сигнала стандартной точности.

Номинальные значения несущих частот навигационных радиосигналов спутников ГЛОНАСС в частотных поддиапазонах L1 и L2 определяются следующими выражениями:

$$f_{k1} = f_{01} + K\Delta f_1,$$

$$f_{k2} = f_{02} + K\Delta f_2,$$

где:

K – номера несущих частот навигационных радиосигналов, излучаемых спутником в частотных поддиапазонах L1 и L2, соответственно;

$$f_{01} = 1602 \text{ МГц}; \quad \Delta f_1 = 562,5 \text{ кГц}, \text{ для поддиапазона L1};$$

$$f_{02} = 1246 \text{ МГц}; \quad \Delta f_2 = 437,5 \text{ кГц}, \text{ для поддиапазона L2}.$$

Распределение номинальных значений несущих частот f_{k1} и f_{k2} по номерам K приведено в таблица 4.1

Распределение номеров K между спутниками отображается в альманахе системы.

Таблица 4.1. Распределение несущих частот поддиапазонов L1 и L2

№ частоты	Номинал частоты в поддиапазоне L1, МГц	№ частоты	Номинал частоты в поддиапазоне L2, МГц
13	1609,3125	13	1251,6875
12	1608,75	12	1251,25
11	1608,1875	11	1250,8125
10	1607,625	10	1250,375
09	1607,0625	09	1249,9375
08	1606,5	08	1249,5
07	1605,9375	07	1249,0625
06	1605,375	06	1248,625
05	1604,8125	05	1248,1875
04	1604,25	04	1247,75
03	1603,6875	03	1247,3125
02	1603,125	02	1246,875
01	1602,5625	01	1246,4375
00	1602,0	00	1246,0
-01	1601,4375	-01	1245,5625
-02	1600,8750	-02	1245,1250
-03	1600,3125	-03	1244,6875
-04	1599,7500	-04	1244,2500
-05	1599,1875	-05	1243,8125
-06	1598,6250	-06	1243,3750
-07	1598,0625	-07	1242,9375

Для каждого спутника рабочие частоты поддиапазонов L1 и L2 когерентны и формируются от общего стандарта частоты. Номинальное значение частоты этого стандарта, с точ-

ки зрения наблюдателя, находящегося на поверхности Земли, равно 5,0 МГц. Для компенсации релятивистских эффектов частота, формируемая бортовым стандартом частоты, с точки зрения наблюдателя, находящегося на спутнике, смещена относительно 5,0 МГц на относительную величину $\Delta f/f = -4,36 \cdot 10^{-10}$ или $\Delta f = -2,18 \cdot 10^{-3}$ Гц, то есть равна 4,99999999782 МГц (величины даны для номинального значения высоты орбиты спутника ГЛОНАСС, равного 19100 км). Отношение рабочих частот L1 и L2, излучаемых определенным спутником составляет:

$$f_{k2} / f_{k1} = 7/9.$$

Фактические значения несущих частот радиосигналов каждого спутника ГЛОНАСС могут отличаться от номинальных значений f_k на относительную величину, не превышающую $\pm 2 \cdot 10^{-11}$.

Предусматривается поэтапное изменение частотного диапазона ГЛОНАСС.

Интерфейс между навигационными спутниками GPS и аппаратурой потребителей состоит из двух радиолиний L-диапазона частот [1]. Каждый навигационный спутник GPS излучает радиосигналы в двух частотных поддиапазонах. Номинальные несущие частоты: L1=1575,42 МГц и L2=1227,6 МГц.

В GPS используется кодовое разделение радиосигналов навигационных спутников в обоих поддиапазонах L1 и L2. Каждый спутник передает навигационные радиосигналы с уникальным кодом на частотах поддиапазонов L1 и L2.

Навигационными спутниками GPS формируются три псевдослучайные последовательности кодов дальности (PRN коды):

точный (P код), который является основным кодом дальности, имеет длину 7 дней, передается со скоростью 10,23 Мбит/с. Семидневная последовательность есть сумма по модулю 2 двух последовательностей X1 длиной 15 345 000 символов и X2_i длиной 15 345 037 символов. Последовательность X2_i – это последовательность X2, выборочно задержанная на 1–37 разрядов. Посредством этого осуществляется технология основной кодовой генерации, которая вырабатывает набор 37 взаимно исключающих последовательностей P-кода длиной 7 дней. Из них, 32 последовательности предназначены для использования при проведении навигационных определений, а оставшиеся 5 зарезервированы для других применений.

Y код, используется вместо P-кода, когда применяется анти-дезинформационный вид работы, определенный в ICD-GPS-203, ICD-GPS-224, ICD-GPS-225.

Грубый (C/A) код доступен всем потребителям, а специальными потребителями используется для обнаружения P (или Y) кода.

Псевдослучайная последовательность C/A кода применяется для идентификации номера навигационного спутника, является кодом Голда, имеет длительность 1 мсек., передается

со скоростью 1023 Кбит/с. Последовательность C/A кода есть сумма по модулю 2 последовательности G_1 и G_{2_i} , задержанной на 5–950 символов относительно G_2 , посредством чего генерируется набор 36 взаимно исключающих C/A-кодов. Идентификация номеров GPS спутников и C/A кодов приведена в таблица 4.2.

Таблица 4.2. Коды GPS

№ спутника	№ сигнала	G_{2_i} (C/A кода)	Соответствие X_{2_i}	Задержка в символах для кодов		Первые 10 символов C/A (три последние цифры записаны в восьмеричном представлении)
				C/A	P	
1	1	$2 \oplus 6$	1	5	1	1440
2	2	$3 \oplus 7$	2	6	2	1620
3	3	$4 \oplus 8$	3	7	3	1710
4	4	$5 \oplus 9$	4	8	4	1744
5	5	$1 \oplus 9$	5	17	5	1133
6	6	$2 \oplus 10$	6	18	6	1455
7	7	$1 \oplus 8$	7	139	7	1131
8	8	$2 \oplus 9$	8	140	8	1454
9	9	$3 \oplus 10$	9	141	9	1626
10	10	$2 \oplus 3$	10	251	10	1504
11	11	$3 \oplus 4$	11	252	11	1642
12	12	$5 \oplus 6$	12	254	12	1750
13	13	$6 \oplus 7$	13	255	13	1764
14	14	$7 \oplus 8$	14	256	14	1772
15	15	$8 \oplus 9$	15	257	15	1775
16	16	$9 \oplus 10$	16	258	16	1776
17	17	$1 \oplus 4$	17	469	17	1156
18	18	$2 \oplus 5$	18	470	18	1467
19	19	$3 \oplus 6$	19	471	19	1633
20	20	$4 \oplus 7$	20	472	20	1715
21	21	$5 \oplus 8$	21	473	21	1746
22	22	$6 \oplus 9$	22	474	22	1763
23	23	$1 \oplus 3$	23	509	23	1063
24	24	$4 \oplus 6$	24	512	24	1706
25	25	$5 \oplus 7$	25	513	25	1743
26	26	$6 \oplus 8$	26	514	26	1761
27	27	$7 \oplus 9$	27	515	27	1770
28	28	$8 \oplus 10$	28	516	28	1774
29	29	$1 \oplus 6$	29	859	29	1127
30	30	$2 \oplus 7$	30	860	30	1453
31	31	$3 \oplus 8$	31	861	31	1625
32	32	$4 \oplus 9$	32	862	32	1712
***	33	$5 \oplus 10$	33	863	33	1745
***	34**	$4 \oplus 10$	34	950	34	1713
***	35	$1 \oplus 7$	35	947	35	1134

№ спутника	№ сигнала	G 2 _i (C/A кода)	Соот- ветствие X 2 _i	Задержка в символах для кодов		Первые 10 символов C/A (три последние цифры записаны в восьмеричном представлении)
				C/A	P	
***	36	2 ⊕ 8	36	948	36	1456
***	37**	4 ⊕ 10	37	950	37	1713

Навигационные радиосигналы, передаваемые спутниками GPS на несущих частотах L1 и L2, являются многокомпонентным фазоманипулированным сигналом. Фазовая манипуляция несущих осуществляется на π радиан.

Квадратурные составляющие сигнала несущей частоты L1 модулируется двоичными последовательностями P и C/A кодов соответственно, сложенными по модулю 2 с данными цифровой информации навигационного сообщения.

Несущая частота L2 модулируется двоичной последовательностью P сложенной по модулю 2 с цифровой информации навигационного сообщения.

Основой для формирования перечисленных компонентов сигнала является бортовой стандарт частоты.

4.3 Формирование информационного сигнала в ГЛОНАСС

Навигационный радиосигнал, передаваемый каждым спутником системы ГЛОНАСС на собственной несущей частоте в поддиапазонах L1 и L2, является многокомпонентным фазоманипулированным сигналом. Фазовая манипуляция несущей осуществляется на π радиан с максимальной погрешностью не более $\pm 0,2$ радиана [2].

Несущая частота поддиапазона L1 модулируется двоичной последовательностью, образованной суммированием по модулю два псевдослучайного (ПС) дальномерного кода, цифровой информации навигационного сообщения и вспомогательного колебания типа меандр.

Несущая частота поддиапазона L2 модулируется двоичной последовательностью, образованной суммированием по модулю два ПС дальномерного кода и вспомогательного колебания типа меандр.

Основой для формирования всех перечисленных компонентов сигнала является бортовой стандарт частоты.

Информация навигационного сообщения, формируется в виде непрерывно следующих строк длительностью 2 с. В первой части каждой строки в течение 1,7 с передается информация навигационного сообщения. Во второй части каждой строки в течение 0,3 с передается двоичный код метки времени.

Двоичная последовательность информации навигационного сообщения образуется в результате сложения по модулю два двух двоичных последовательностей:

- последовательности символов цифровой информации навигационного сообщения в относительном коде с длительностью символов 20 мс ;
- последовательности меандра с длительностью символов 10 мс .

Двоичный код метки времени представляет собой укороченную псевдослучайную двоичную последовательность метки времени (ПСПМВ) длиной 30 символов с длительностью символов 10 мс , которая описывается образующим полиномом

$$g(x) = 1 + x^3 + x^5$$

и имеет вид :

111110001101110101000010010110.

Первый символ цифровой информации в каждой строке информационного сообщения всегда "0". Он дополняет укороченную ПСПМВ предыдущей строки до полной (не укороченной) псевдослучайной последовательности .

В излучаемом навигационном радиосигнале границы двухсекундных строк , границы символов цифровой информации , границы символов меандра , границы символов ПСПМВ и границы символов ПСПД синхронизированы между собой ; границы символов меандра и границы символов цифровой информации совпадают с передними фронтами начальных символов ПСПД . Задний фронт последнего символа ПСПМВ в излученном навигационном радиосигнале является меткой времени и соответствует моменту времени , отстоящему от начала суток на целое четное количество секунд в шкале времени спутника .

Псевдослучайный дальномерный код представляет собой последовательность максимальной длины регистра сдвига (M-последовательность) с периодом 1 мс и скоростью передачи символов 511 кбит/с .

Цифровая информация передается со скоростью 50 бит/с .

Упрощенная структурная схема формирования последовательности данных в системе ГЛОНАСС изображена на рис 4.4

Модулирующая последовательность , используемая для модуляции несущих частот поддиапазона L1 при формировании сигналов стандартной точности , образуется сложением по модулю два трех двоичных сигналов :

- псевдослучайного дальномерного кода , передаваемого со скоростью 511 кбит/с ;
- навигационного сообщения , передаваемого со скоростью 50 бит/с ;
- вспомогательного меандрового колебания , передаваемого со скоростью 100 бит/с .

Модулирующая последовательность , используемая для модуляции несущих частот поддиапазона L2 при формировании сигналов стандартной точности , образуется сложением по модулю два двух двоичных сигналов :

- псевдослучайного дальномерного кода , передаваемого со скоростью 511 кбит/с ;
- вспомогательного меандрового колебания , передаваемого со скоростью 100 бит/с .

Данные последовательности используется для модуляции несущих частот поддиапазонов L1 и L2 при формировании сигналов стандартной точности .

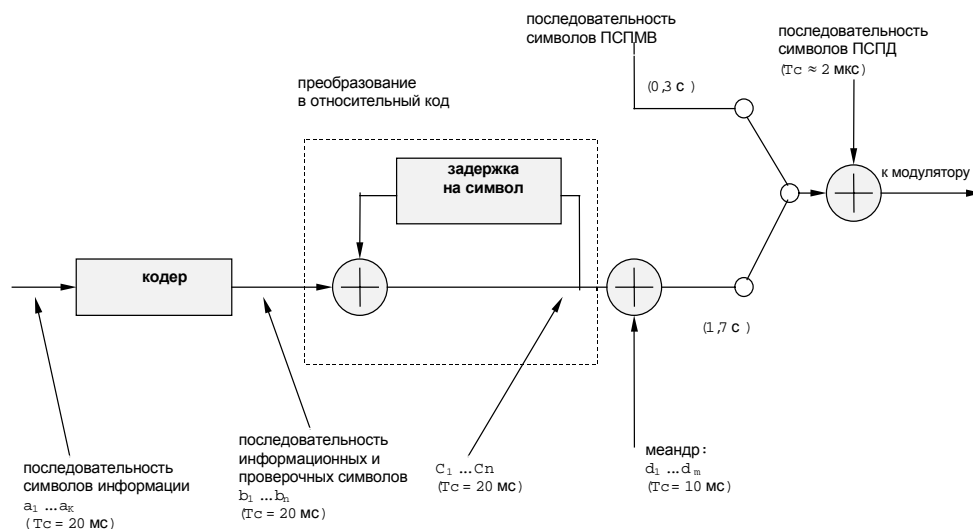


Рис . 4.4. Упрощенная структурная схема формирования последовательности данных

Упрощенная структурная схема формирования дальномерного кода ПСПД и синхронизирующих импульсов для навигационного радиосигнала приведена на рис . 4.5 .

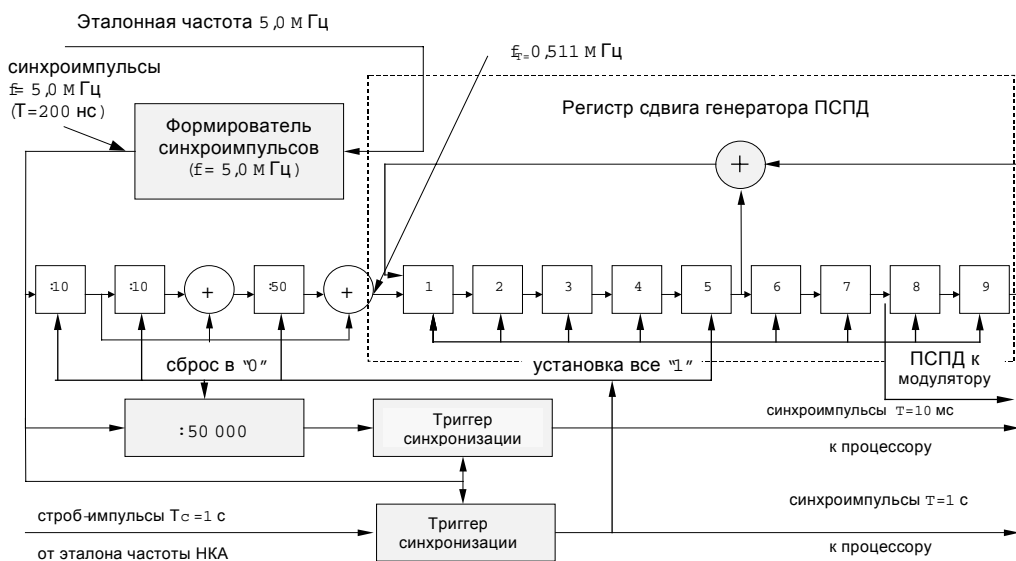


Рис . 4.5. Упрощенная структурная схема формирования дальномерного кода ПСПД и синхроимпульсов для навигационного радиосигнала

ПС дальномерный код представляет собой ПС последовательность максимальной длины регистра сдвига с периодом повторения 1 мс и скоростью передачи символов 511 кбит/с .

ПС дальномерный код снимается с 7-го разряда 9-ти разрядного регистра сдвига . Код начального состояния регистра сдвига соответствует наличию "1" во всех разрядах регистра . Начальным символом в периоде ПС дальномерного кода является 1-ый символ в группе

111111100, повторяющийся через 1 мс. Образующий полином, соответствующий регистру сдвига, формирующему ПС дальномерный код, имеет следующий вид:

$$G(x) = 1 + x^5 + x^9.$$

Структура регистра сдвига, формирующего дальномерный код показана на рис. 4.6.

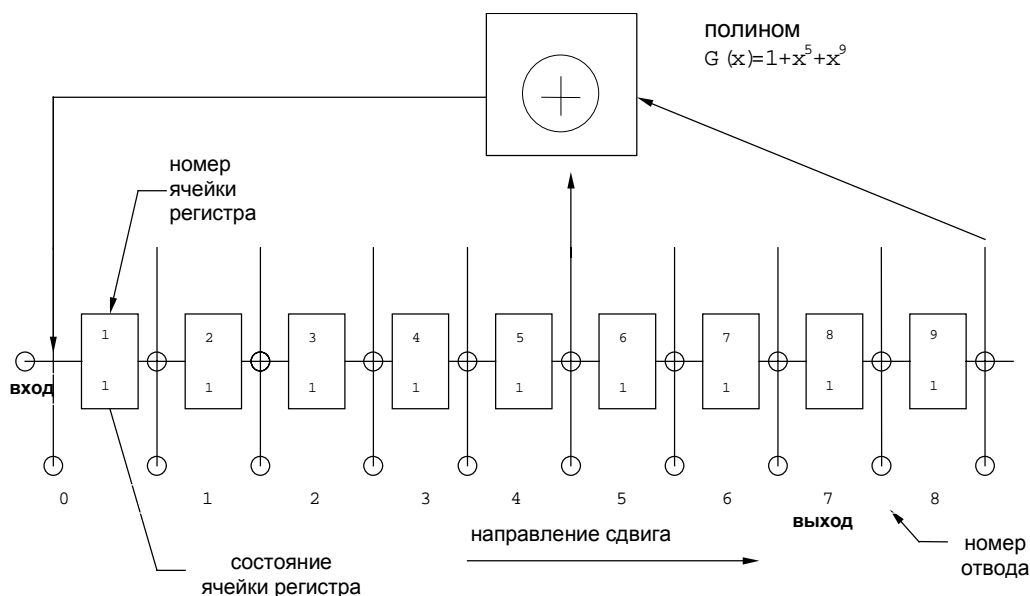


Рис. 4.6. Структура регистра сдвига, формирующего дальномерный код

Временные соотношения между синхроимпульсами модулирующего навигационного сигнала и дальномерным кодом ПСПД даны на рис. 4.7.

Формирование последовательности данных в процессоре спутника приведены на рис. 4.8.

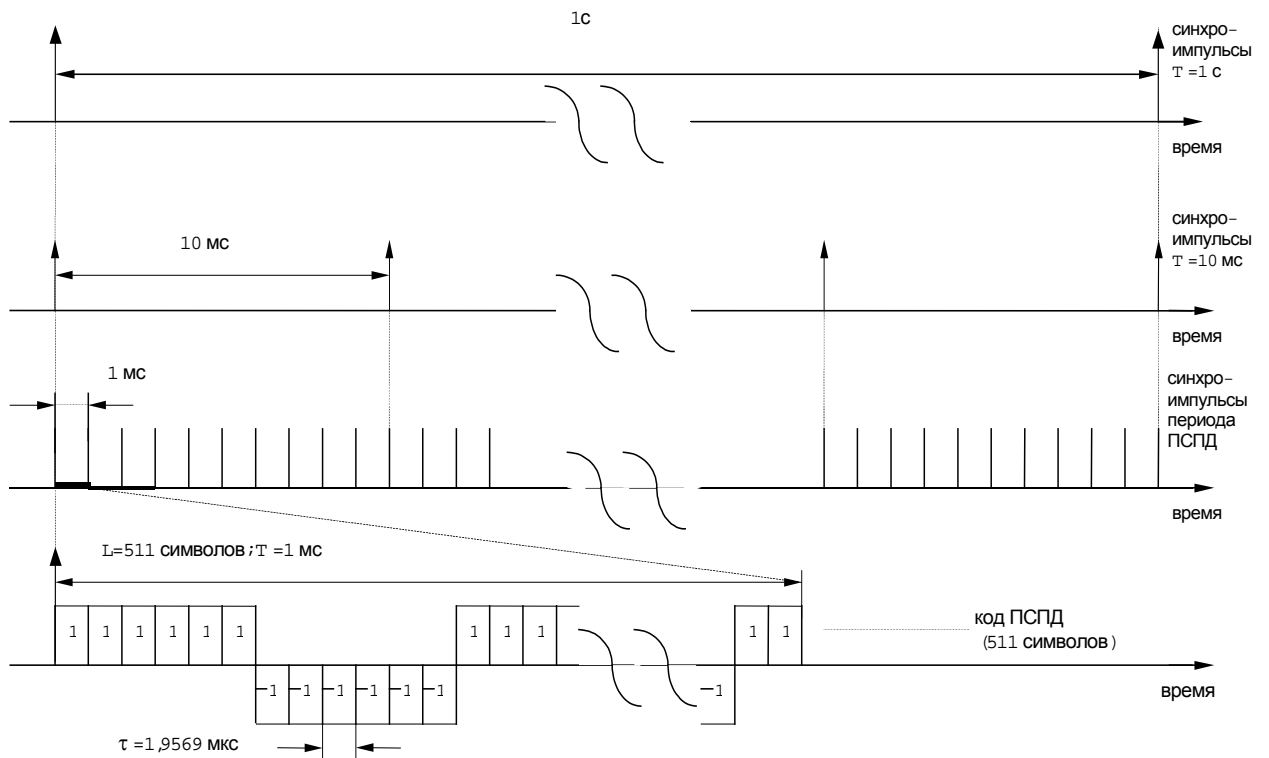


Рис . 4.7. Временные соотношения между синхροимпульсами модулирующего навигационного сигнала и дальномерным кодом ПСПД

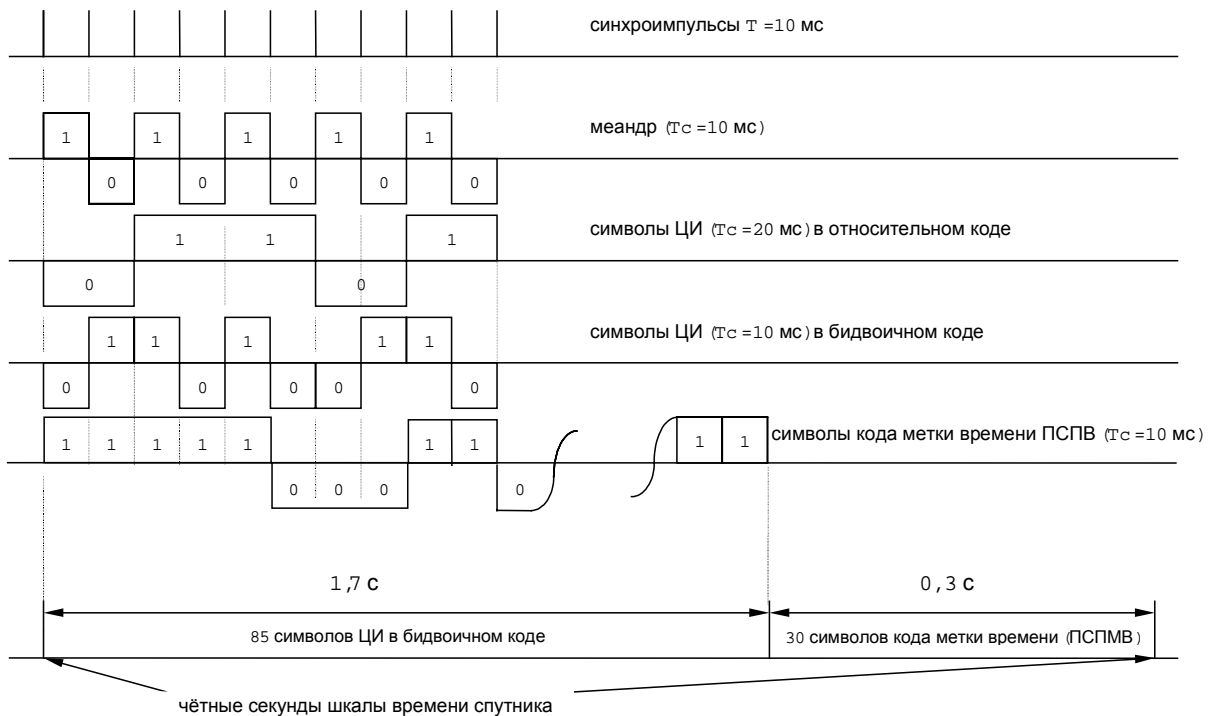


Рис . 4.8. Формирование последовательности данных в процессоре спутника

4.4. Формирование информационного сигнала в GPS

В информационном сигнале GPS квадратурные составляющие несущей частоты модулируются двумя псевдослучайными последовательностями [1]. Каждая последовательность есть бифазный $(0, \pi)$ сдвинутый код (biphase shift key, BPSK). Одна последовательность – сумма по модулю 2 P(Y) кода и навигационных данных, другая последовательность – сумма по модулю 2 C/A кода и навигационных данных. При этом составляющая C/A кода должна быть задержана относительно P сигнала на 90 градусов. Несущая частота L2 модулируется только одной из этих 2^x последовательностей. Код, используемый для модуляции несущей L2 выбирается наземными командами. Третий вид модуляции несущей L2 также определяется наземными командами. Он использует в качестве модулирующего сигнала P(Y) – код без навигационных данных. Для навигационных спутников все элементы передаваемого сигнала (несущие, коды и данные) когерентны и создаются одним бортовым источником частоты.

Номинальная частота этого источника для наблюдателя на Земле составляет 10,23 МГц. Несущая частота спутника и величина поправки частот для наблюдателя, находящегося на спутнике измеряются для компенсации релятивистских эффектов. Величины поправки часов изменяются на величины $\Delta f/f = -4,4647 \cdot 10^{-10}$, что эквивалентно изменению частоты P-кода (10,23 МГц) на $\Delta f = -4,5674 \cdot 10^{-3}$ Гц. (частота генерации P кода будет 10,22999999543 МГц).

Упрощенная схема формирования радионавигационного сигнала спутника GPS изображена на рис. 4.9

Последовательность G1 в генераторе C/A кода формируется посредством десятиразрядного регистра сдвига и сумматора по модулю 2 рис. 4.10.

Образующий полином для последовательности G1 имеет вид:

$$\text{Образующий полином } G1 = 1 + x^3 + x^{10}.$$

Начальное состояние регистра сдвига есть десять двоичных символов «1111111111».

В течение 1 миллисекунды генерируется 1023 символа последовательности G1.

Последовательность G2, также формируется с помощью 10-разрядного регистра сдвига и сумматора по модулю 2, но образующий полином последовательности G2 иной:

$$\text{Образующий полином } G2 = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}.$$

Схема формирования последовательности G2 изображена на рис. 4.11.

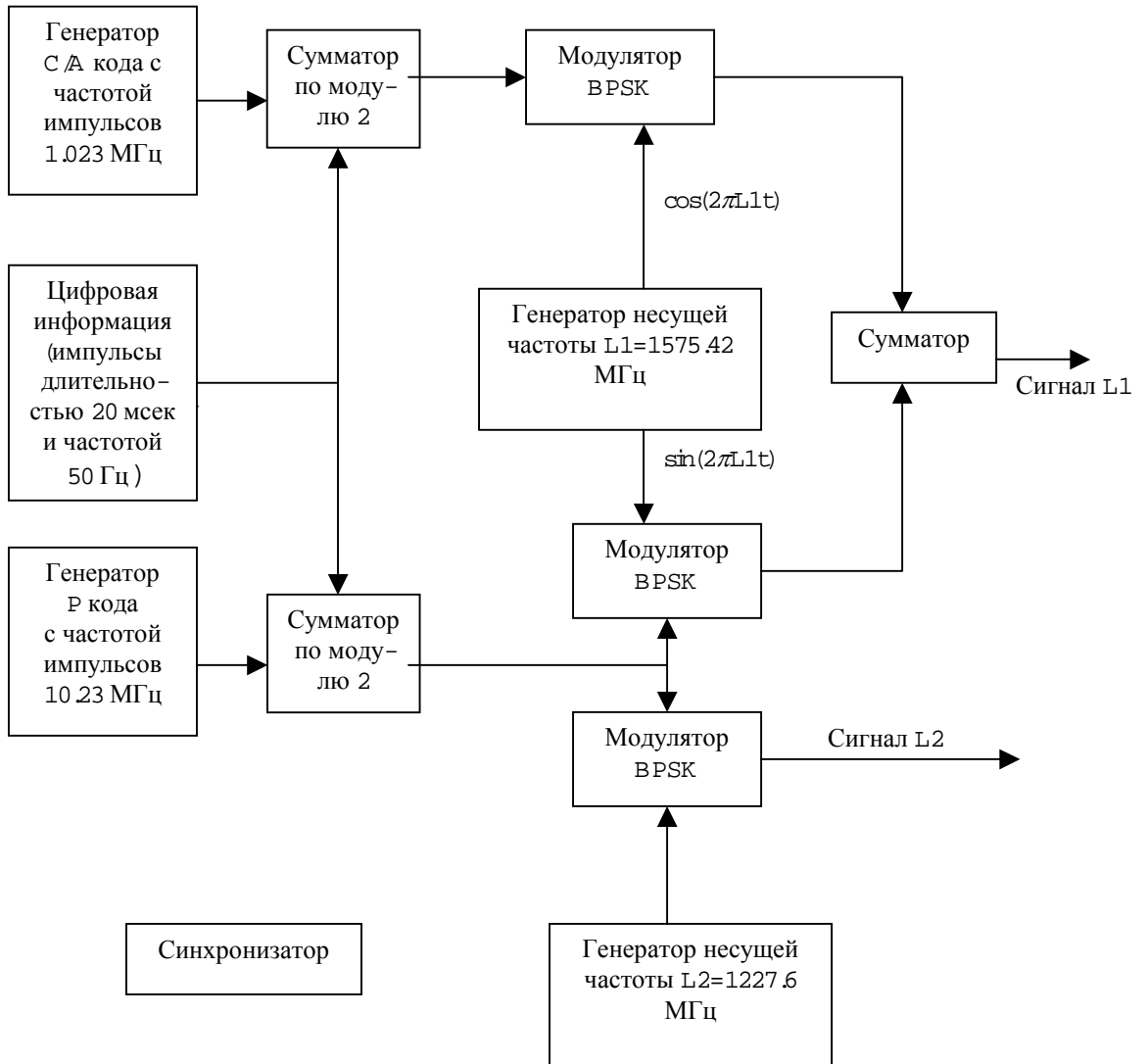


Рис . 4 9 . Формирования радионавигационного сигнала спутника GPS

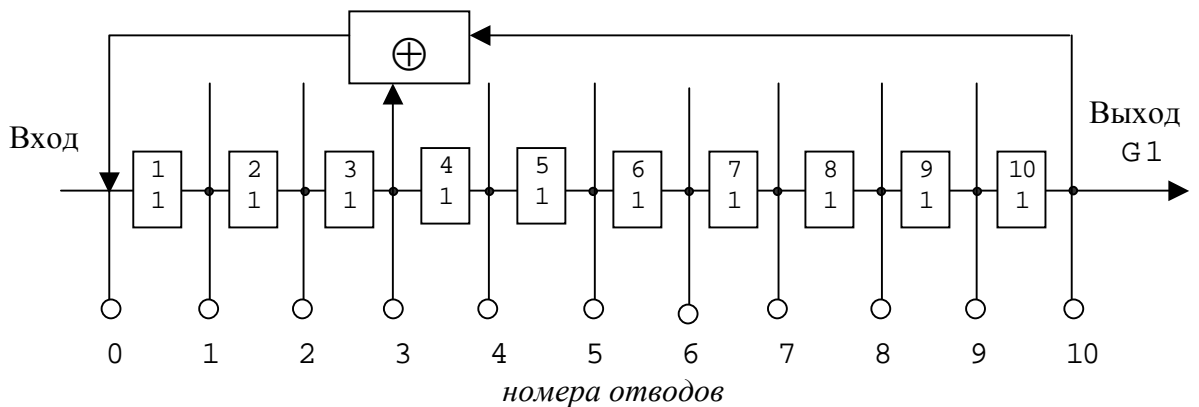


Рис . 4 10 . Формирование последовательности G 1

Последовательности $G 2_i$ формируются посредством схемы рис. 4.11 путем сложения по модулю 2 пар последовательностей с соответствующих отводов регистра сдвига. Так, например, чтобы получить последовательности $G 2_i$ для спутников с идентификационными номерами 1, 7, 13, 32, нужно сложить по модулю 2 последовательности $G 2$ с отводов 2 и 6, 1 и 8, 6 и 7, 4 и 9 соответственно. Полная информация о соответствии складываемых последовательностей идентификационным номерам спутников дана в таблице 4.1

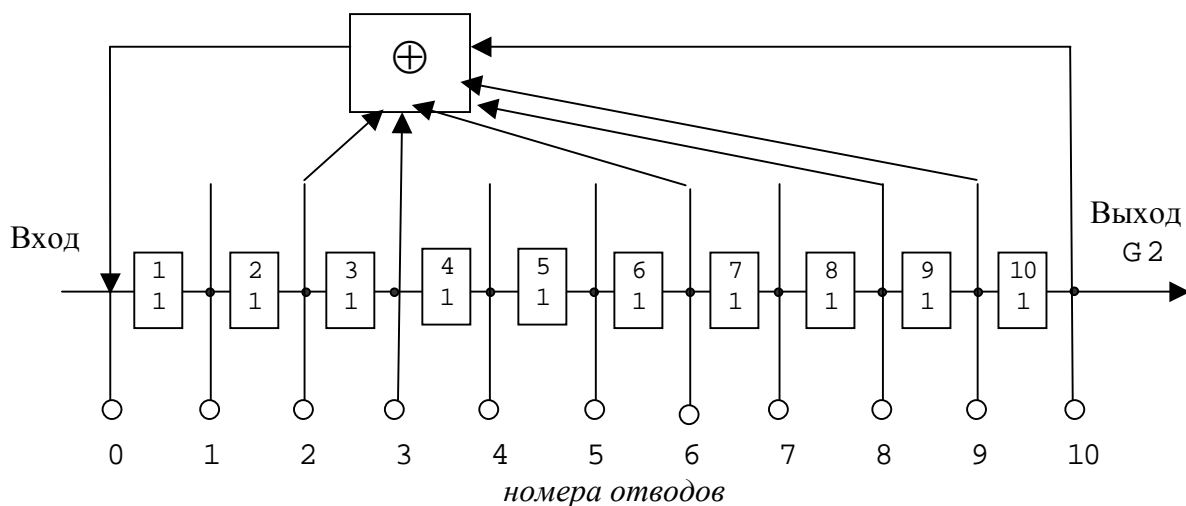


Рис. 4.11. Формирования последовательности $G 2$

Упрощенная схема генератора C/A кода, учитывающая процедуры формирования псевдослучайных последовательностей $G 1$ и $G 2$ изображена на рис. 4.12.

В генераторе C/A кода регистрами $G 1$ и $G 2$, согласно приведенным выше образующим полиномам, формируются псевдослучайные последовательности двоичных символов. В соответствии с задаваемыми алгоритмами логический сумматор-переключатель с отводов регистра $G 2$ соответствующие таблице 4.2 выбирает пары задержанных последовательностей, которые суммируются по модулю 2 и образуют последовательности $G 2_i$. Последовательности $G 2_i$ складываются по модулю 2 с последовательностью $G 1$ и формируют псевдослучайный код C/A i -го навигационного спутника. Далее кодом C/A , сложенным по модулю 2 с навигационными данными модулируется несущая частота.

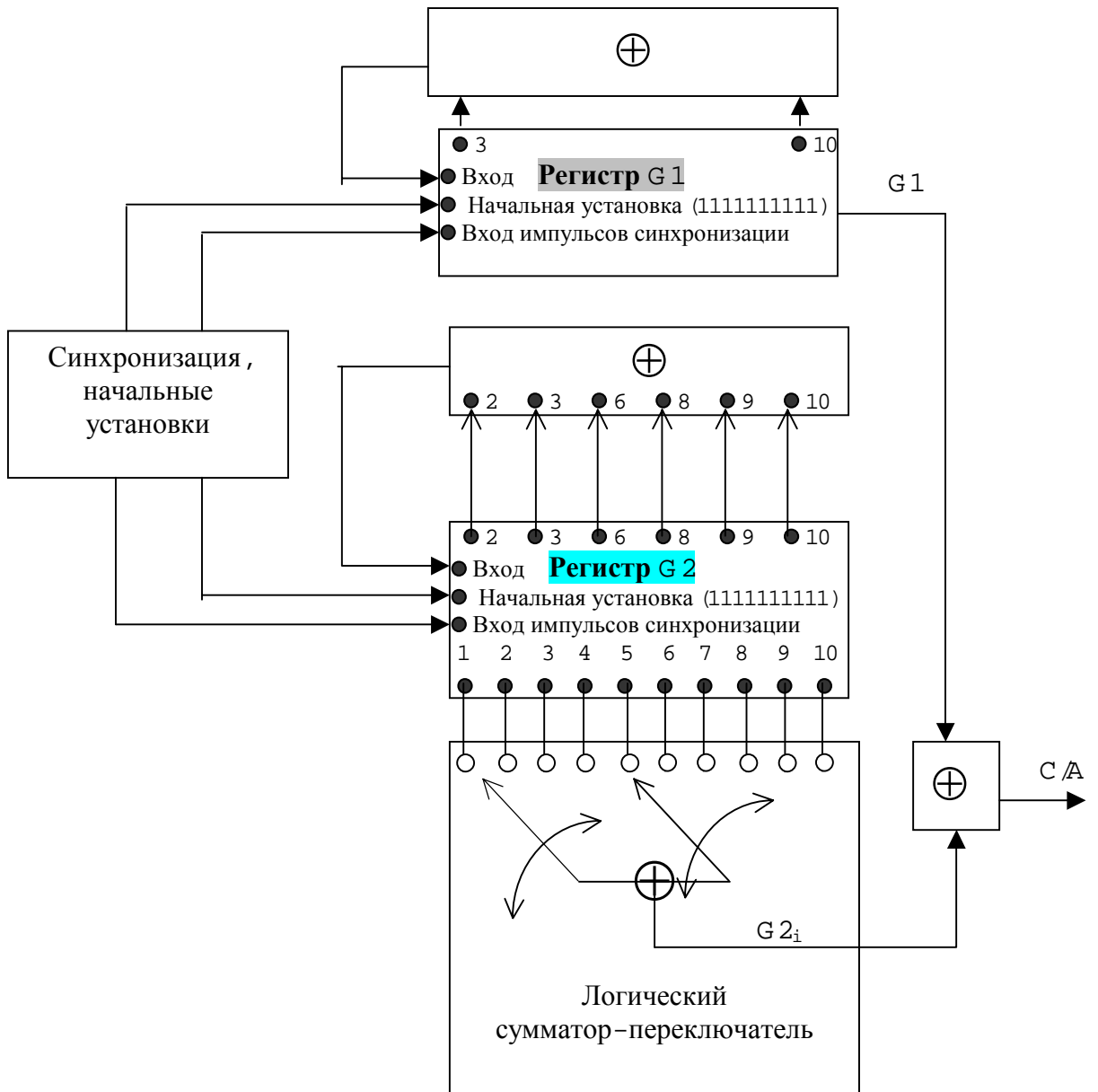


Рис. 4.12. Схема генератора C/A кода

