

*В. В. КОНИН, д-р. техн. наук, А. А. ЮРЧУК, В. Н. ШУТКО, д-р. техн. наук*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОГО КОДА СИГНАЛА E5 СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ GALILEO**

### **Введение**

В спутниковых радионавигационных системах (СРНС) применяются сигналы с расширенным спектром для выделения принимаемого приемником сигнала из шума и идентификации навигационных спутников.

Одной из компонент сигнала спутника является псевдослучайный код (ПСК), представляющий собой последовательность двоичных символов определенной длины. Спектры последовательностей в ограниченной полосе частот близки к спектру белого шума.

В гражданском сигнале СРНС ГЛОНАСС для формирования ПСП применяется образующий (примитивный) полином девятой степени, в GPS – два полинома десятого порядка и два линейных регистра сдвига с обратной связью, формирующие 37 уникальных для каждого спутника ПСП длиной 1023 символа. В программном виде формирование ПСК ГЛОНАСС и GPS приводится в [1].

В разрабатываемых СРНС GALILEO, COMPASS (Китай), модернизированной ГЛОНАСС предполагается использовать многокомпонентные сигналы с БОС (binary offset carrier) – модуляцией [2 - 4]. Поскольку эксплуатируемые и будущие СРНС работают на близких или совпадающих несущих частотах, то взаимное влияние сигналов систем в приемном тракте аппаратуры потребителя во многом определяется ПСК. Исследование взаимодействия ПСК различных систем проводится как при разработке навигационной аппаратуры, так и при поиске программно-технических решений для различных условий применения, например, при сложной помеховой обстановке. В этом случае ПСК выполняют определяющую роль.

### **Принцип и методика формирования и генерирования некоммерческого компонента ПСК сигнала GALILEO.**

Некоммерческие ПСК GALILEO в шестнадцатичном виде приводятся в [4]. Однако применение этого материала вызывает определенные неудобства при считывании и преобразовании в двоичную форму, для решения программных или технологических задач при отработке программно – аппаратных решений и при решении задач взаимного влияния сигналов различных СРНС, для которых ПСК заданы только образующими полиномами.

Псевдослучайные последовательности GALILEO построены из первичных и вторичных кодов с использованием ярусных кодовых конструкций. Кодовые конструкции формируются последовательно – первичные коды модулируются вторичными.

Первичные коды могут быть: псевдослучайной последовательностью сдвигового регистра с линейной обратной связью или оптимизированными псевдослучайными последовательностями.

Первичные коды могут храниться в памяти навигационного приемника и называются «кодами памяти». Они образуются как усеченная до подходящей длины комбинация двух M-последовательностей и являются кодами Голда. Эти коды могут генерироваться парами сдвиговых регистров с линейной обратной связью (LFSR).

Вторичные коды – это определенные фиксированные последовательности, расширенные до кодов с длиной не кратной 4. В логическом представлении, чипы вторичного кода это последовательно ограничивающийся период с первичного кода [4]. В данной работе вторичные коды не анализируются.

Рассмотрим формирование первичного ПСК сигнала GALILEO E5 генератором псевдослучайного кода, выполненным на двух линейных регистрах сдвига с обратной связью (рис. 1).

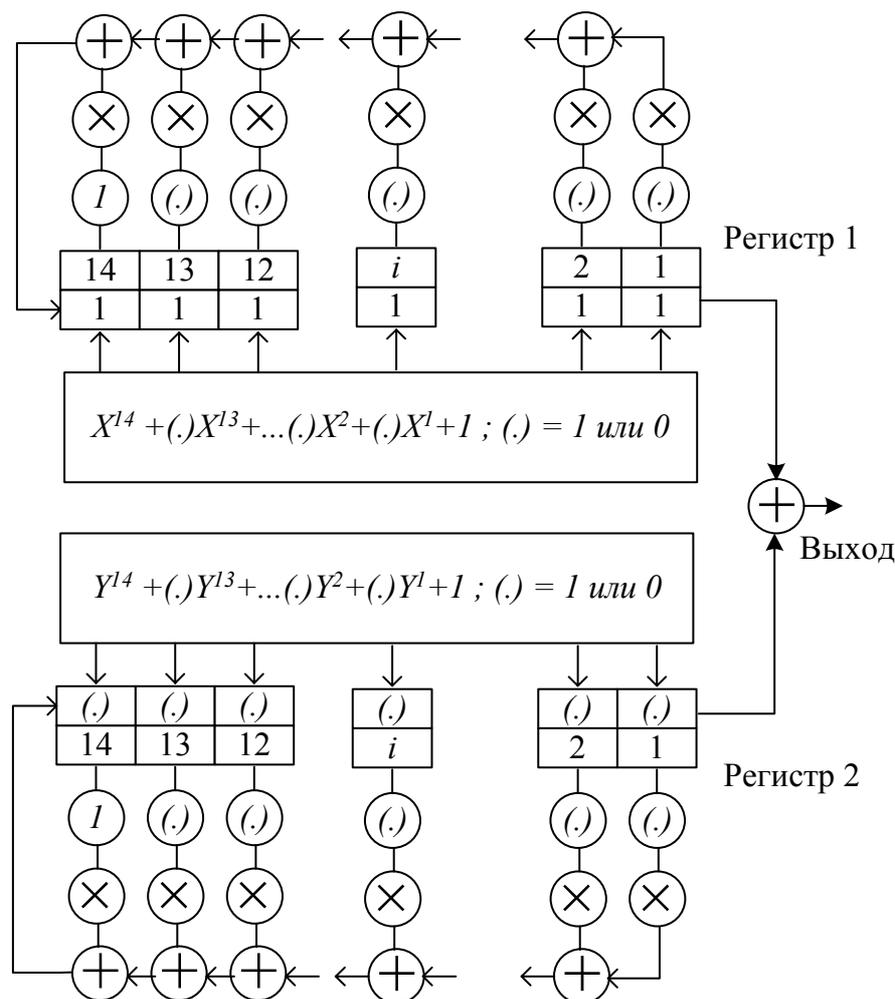


Рис. 1

Генератор состоит из двух линейных регистров сдвига (регистр 1 и регистр 2) и сумматора по модулю 2, на выходе которого формируется псевдослучайный код. Алгоритм работы генератора заключается в следующем. Регистрам 1 и 2 соответствуют образующие (примитивные) полиномы  $P(X)$  и  $P(Y)$  соответственно со степенью, равной порядку регистра. Содержания ячеек регистров, соответствующих показателям степени полиномов, суммируются по модулю 2 и передаются на входы регистров сдвига. Начальное состояние регистра 1 – все единицы (для Galileo), начальное состояние регистра 2 устанавливается специальным образом из последовательности нулей и единиц. Регистрами генерируются последовательности символов из нулей и единиц, которые после суммирования по модулю 2 образуют на выходе ПСК или код Голда. Эта последовательность состоит из  $2^n - 1$  символов, где  $n$  - максимальная степень образующего полинома, которая может быть ограничена.

Псевдослучайные коды навигационных спутников, рассчитанные заранее, хранятся в памяти навигационного приемника или могут генерироваться по мере необходимости. В последнем случае имеет место освобождение памяти приемника для выполнения других задач при обработке сигналов спутников.

Для генерации кодов спутников интерфейсными контрольными документами потребителю предоставляются данные, с помощью которых в навигационном приемнике

может быть сформированы копии псевдослучайных кодов для обнаружения, сопровождения сигналов спутников, получения измерительной информации и в конечном итоге решения навигационной задачи.

Псевдослучайные коды сигналов GALILEO для некоммерческих сервисов системы могут быть получены с помощью функции MatLab `comm.GoldSequence`, которая появилась в пакете MatLab в версии R2010b и может генерировать код Голда по исходным входным данным, приведенным в интерфейсном контрольном документе GALILEO [4].

Образующий (примитивный) полином (*primitive polynomial*). Регистру сдвига с обратной связью, формирующему псевдослучайную последовательность соответствуют примитивные полиномы. Пакет MatLab имеет функцию `primpoly(n,opt)`, позволяющую определить все образующие полиномы для регистров сдвига до порядка 16. Так, например, для 14 – разрядного регистра ( $n = 14$ ) количество образующих полиномов – 756. Функция выдает полиномы в форме типичной для MatLab в виде десятичного числа, после преобразования которого в двоичное можно восстановить обычную запись полинома.

### Методика применения функции `comm.GoldSequence`.

Для первичного кода сигнала E5a-I GALILEO образующий полином, полученный с помощью функции `primpoly(n,opt)` имеет вид  $D^{14}+D^{13}+D^8+D^6+1$  и десятичное число  $rg = 24897$ , двоичное число – 110000101000001. Ненулевые разряды двоичного числа (читаем слева направо) 14, 13, 8, 6, 0 соответствуют показателям полинома и свободному члену. Альтернативный образующий полином  $D^{14}+D^8+D^6+D^1+1$ , десятичное число  $rg = 16707$ , двоичное число 100000101000011. Двоичные числа образующих полиномов зеркальные.

Функция в общем виде представляется следующим образом:

```
hgld = comm.GoldSequence('свойство 1', значение 1, ..., 'свойство N', значение N);
x = step(hgld).
```

Код Голда выводится в векторе  $x$  в виде последовательности двоичных символов 0 и 1.

Параметры входных данных функции для генерации кода Голда:

1. `Свойство 1 = 'FirstPolynomial'`- образующий полином для регистра 1.
2. `Значение 1 =` условная запись образующего полинома регистра 1.

Так, например, если образующий полином имеет вид  $X^{14} + X^{13} + X^8 + X^6 + 1$ , то значение 1 записывается [14 13 8 6 0] или в виде двоичного числа [1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0].

3. `Свойство 2 = 'SecondPolynomial'` – образующий полином для регистра 2.

4. `Значение 2 =` условная запись образующего полинома регистра 2. Так, например, если образующий полином имеет вид  $Y^{14} + Y^{10} + Y^9 + Y^7 + Y^6 + Y^2 + 1$ , то значение 1 записывается [14 10 9 7 6 2 0] или в виде двоичного числа [1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0].

5. `Свойство 3 = 'FirstInitialConditions'` – начальное состояние регистра 1.

6. `Значение 3 =` во всех разрядах 1, например, [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1].

7. `Свойство 4 = 'SecondInitialConditions'` – начальное состояние регистра 2.

8. `Значение 4 =` во всех разряда двоичные 0 и 1 согласно исходным данным соответствующего кода, например, [1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1].

9. `Свойство 5 = 'Index'` – выходные данные.

10. `Значение 5 =`

$$\begin{cases} -2 - \text{выходные данные регистра 1,} \\ -1 - \text{выходные данные регистра 2,} \\ 0 - \text{выходные данные кода Голда.} \end{cases}$$

11. `Свойство 6 = 'SamplesPerFrame'`- количество выходных символов.

12. `Значение 6 =` десятичное число, соответствующее количеству выводимых символов, например, 10232.

13. `Свойство 7 = 'Shift'` – сдвиг между регистрами 1 и 2.

14. Значение  $7 = 0$  между регистрами сдвиг отсутствует.
15. Свойство  $8 = 'OutputDataType'$  – тип выходных данных.
16. Значение  $8 = 'logical'$ .

Документ [4] предоставляет спецификацию (входные данные) для некоммерческих кодов (табл. 1 и табл. 2). В табл.1 приведены данные для образующих полиномов, в табл. 2 – данные начального состояния регистра 2 для четырех кодов в восьмеричном представлении и первые шесть символов кода Голда в шестнадцатеричном формате. Полная информация по входным данным двухсот кодов E5a-I, E5a-Q, E5b-I, E5b-Q спутников GALILEO приводится в [4].

Таблица 1

Компонент сигнала	Длина регистра сдвига	Образующие полиномы регистров 1 и 2 в восьмеричном представлении	
		1	2
E5a-I	14	40503	50661
E5a-Q	14	40503	50661
E5b-I	14	64021	51445
E5b-Q	14	64021	43143

Таблица 2

Код E5a-I			Код E5a-Q		
Номер кода	Начальная величина	Начальная последовательность	Номер кода	Начальная величина	Начальная последовательность
1	30305	3CEA9D	1	25652	515537
2	14234	9D8CF1	2	05142	D67539
3	27213	45D1C8	3	24723	58B2E5
4	20577	7A0133	4	31751	305914
Код E5b-I			Код E5b-Q		
Номер кода	Начальная величина	Начальная последовательность	Номер кода	Начальная величина	Начальная последовательность
1	07220	C5BEA1	1	03331	E49AF0
2	26047	4F6248	2	06143	CE701F
3	00252	FD5488	3	25322	54B709
4	17166	86277B	4	23371	641AB1

На примере генерирования кода 1 сигнала E5a-I по входным данным табл. 1 и 2 покажем результаты формирования кода Голда функцией `comm.GoldSequence`.

Образующие полиномы для регистров 1 и 2 получим из восьмеричных представлений табл. 1 40503 и 50661. Восьмеричным числам 40503 и 50661 соответствуют двоичные: "100000101000011" и "101000110110001". Старшие разряды справа. Показатели степени образующего полинома для первого двоичного числа "14 13 8 6", для второго двоичного числа – "14 10 9 7 6 2" (последний младший 15 разряд слева отбрасываем).

Из табл. 2 для кода 1 сигнала E5a-I формируем начальную величину регистра 2. Для этого восьмеричное число 30305 переводим в двоичное "11000011000101" (старшие разряды справа).

Вводим полученные данные в функцию генерации кода Голда.

```
hgld = comm.GoldSequence('FirstPolynomial',[14 13 8 6 0],...
'SecondPolynomial', [14 10 9 7 6 2 0],...
'FirstInitialConditions', [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1],
'SecondInitialConditions', [1 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1],...
'Index',0,'SamplesPerFrame',10232,'Shift',0,'OutputDataType','logical');
x1 = step(hgld)
```

Функция генерирует 10232 символа кода Голда. Результаты выполнения программы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Первые 50 символов кода Голда	00111100111010101001110110100111101100000111101100
Первые 50 символов регистра 1	11111111111111010101101010000110101001000011010001
Первые 50 символов регистра 2	11000011000101111100011100100001000101000100111101
Начальные и конечные символы кода Голда в шестнадцатеричном формате	3CEA9DA7B07... ..853BD47722FC

**Выводы**

Следуя изложенной методике можно сформировать любой из кодов сигнала E5 CPNC GALILEO, а также сигналы тестовых спутников GALILEO E1 и CPNC COMPASS по образующим полиномам.

Отметим также, что в исследовательском плане псевдослучайные коды требуются разработчикам навигационной аппаратуры для отработки схемно-технических решений, оценки помехоустойчивости и помехозащищенности, а также для совершенствования алгоритмов обработки сигналов спутников, например, эффектов ослабления влияния многолучевости.

**Список литературы:** 1. *Конин В. В., Харченко В. П. Системы спутниковой радионавигации.* – К.: Холтех, 2010. – 520 с. 2. *Betz J. “Binary Offset Carrier Modulations for Radionavigation,”* Journal of the Institute of Navigation, vol.48, No. 4, Winter 2001-2002, pp. 227-246. 3. *Ярлыков М. С. Меандровые шумоподобные сигналы (ВОС- сигналы) в новых спутниковых радионавигационных системах // Радиотехника. 2007, № 8. – С. 3 – 12.* 4. *European Union «European GNSS (Galileo) Open Service» // Signal In Space. Interface Control Document. OD SIS ICD. Issue 1. – 2010. – 216 p.*

*Национальный авиационный университет*

*Поступила в редколлегию 24.10.2011*