

УДК 681.324 : 621.396

А.Н. Рысованый, В.В. Гоготов

Национальный технический университет "ХПИ", Харьков

## ГЕНЕРАТОР ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПО МОДУЛЮ ТРИ С РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТОЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

*Рассмотрена возможность построения генератора псевдослучайной последовательности по модулю 3, который формирует псевдослучайные последовательности с различной частотой. Проведено исследование формируемых генератором псевдослучайных последовательностей. Результаты исследования позволят проводить тестирование устройств с различным быстродействием одновременно.*

**Ключевые слова:** генератор псевдослучайных последовательностей, частота, модуль три, длина формируемой последовательности.

### Введение

**Постановка проблемы.** Прогресс в микроэлектронике привел к усложнению тестирования работоспособности разрабатываемых цифровых устройств. Основным элементом любой системы встроенного самотестирования является источник тестовых воздействий. Большинство подобных систем в качестве тестовых воздействий применяют псевдослучайные последовательности максимальной длины. В связи с этим возникает проблема проведения одновременно тестирования узлов с различной частотой.

**Анализ литературы.** Как показано в работе [1], наилучшие результаты достигаются при тестировании схемы на рабочих частотах при помощи средств встроенного самотестирования, в связи с тем, что обнаруживаются как статические (константные), так и динамические неисправности. Именно от свойств генераторов псевдослучайных последовательностей (ПСП) зависит надежность процесса сбора, обработки, хранения и передачи информации, о чем сказано в [2]. В [4 – 9] рассмотрены свойства и особенности последовательностей максимальной длины, показан подход к построению генераторов псевдослучайных последовательностей по модулю три, получению матриц состояний, описаны основные свойства и структурные особенности последовательностей максимальной длины.

**Целью статьи** является построение генератора псевдослучайной последовательности по модулю 3, который формирует псевдослучайные последовательности с различной частотой.

### Основная часть

Функциональная схема генератора ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 с полиномом  $P(x) = x^5 \oplus_3 x^2 \oplus_3 1$  приведена на рис. 1. Методика построения генераторов ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 описана в [4 – 9].

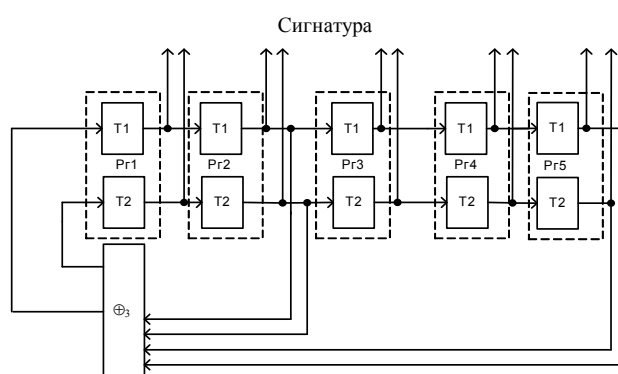


Рис. 1. Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по модулю 3 с  $P(x) = x^5 \oplus_3 x^2 \oplus_3 1$

Работа генератора ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 описывается с помощью матрицы состояний, которая для схемы рис. 1 имеет следующий вид:

1	0	1	0	1	1	1	2	1	0	2	1	1	2	1	1	2	2	1	0
0	1	0	1	0	1	1	1	2	1	0	2	1	1	2	1	1	2	2	1
0	0	1	0	1	0	1	1	1	2	1	0	2	1	1	2	1	1	2	2
0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	2	1	0	2	1	1	2	1	1	2
0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	2	1	0	2	1	1	2	1	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

2	2	1	0	1	2	0	0	0	1	2	1	2	1	0	0	1	2	2	2
0	2	2	1	0	1	2	0	0	0	1	2	1	2	1	0	0	1	2	2
1	0	2	2	1	0	1	2	0	0	0	1	2	1	2	1	0	0	1	2
2	1	0	2	2	1	0	1	2	0	0	0	1	2	1	2	1	0	0	1
2	2	1	0	2	2	1	0	1	2	0	0	0	1	2	1	2	1	0	0
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

2	0	1	2	0	1	0	2	2	2	0	2	2	1	1	1	0	0	1	1
2	2	0	1	2	0	1	0	2	2	2	0	2	2	1	1	1	0	0	1
2	2	2	0	1	2	0	1	0	2	2	2	0	2	2	1	1	1	0	0
2	2	2	2	0	1	2	0	1	0	2	2	2	0	2	2	1	1	1	0
1	2	2	2	2	0	1	2	0	1	0	2	2	2	0	2	2	1	1	1
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

2	1	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	0	0	1
1	2	1	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	0	0
1	1	2	1	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	0
0	1	1	2	1	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2
0	0	1	1	2	1	2	2	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

2	0	2	0	0	2	0	1	0	1	2	1	0	1	1	0	2	0	0	1
1	2	0	2	0	0	2	0	1	0	1	2	1	0	1	1	0	2	0	0
0	1	2	0	2	0	0	2	0	1	0	1	2	1	0	1	1	0	2	0
0	0	1	2	0	2	0	0	2	0	1	0	1	2	1	0	1	1	0	2
2	0	0	1	2	0	2	0	0	2	0	1	0	1	2	1	0	1	1	0
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
2	0	0	1
101	102	103	104

Пусть  $a_i$  –  $i$ -й символ последовательности, определяемой порождающим полиномом  $P(x)$  степени  $n$ . Саму последовательность, начинающуюся с  $i$ -го символа, обозначим  $\{a_i\} = a_i, a_{i+1}, a_{i+2}, \dots, a_{L-1}, a_0, a_1, \dots, a_{i-1}$ , где  $i = \overline{0, L-1}$ ,  $L = 2^m - 1$  – период последовательности. Среди этих последовательностей существует характеристическая последовательность  $\{a_0\}$ , для которой справедливо выражение  $a_i = a_{2i}$  для любого  $i = \overline{0, L-1}$ .

В результате выборки элементов последовательности формируется некоторая последовательность  $\{b_i\} = a_i, a_{i+j}, a_{i+2j}, \dots, a_{i+(L-1)j}$ . Новая последовательность  $\{b_0\}$  является последовательностью, определяемой примитивным полиномом той же самой степени, что и исходная.

Для формирования последовательности с увеличенной в  $k$  раз частотой предлагается формировать  $k$  сдвинутых копий. В течение периода тактового импульса из этих копий выбираются  $k$  символов. Первым выбирается первый символ из характеристического сдвига  $\{a_0\}$ , то есть  $b_0 = a_0$ , затем первый символ из некоторого сдвига  $\{a_x\}$ , то есть  $b_1 = a_x$ . Далее  $b_2 = a_{2x}$ ,  $b_3 = a_{3x}$ , ...,  $b_{k-1} = a_{(k-1)x}$ . Затем в той же последовательности выбираются вторые символы, то есть  $b_{kx} = a_1$ ,  $b_{kx+1} = a_{x+1}$  и т.д. Таким образом, новая последовательность  $\{b_0\}$  формируется в результате выборки исходной последовательности  $\{a_0\}$  по индексу  $x$ .

Рассмотрим пример, когда требуется получить ускоренную в три раза последовательность  $\{a_0\}$ . Функциональная схема генератора ПСП с использованием блока сложения по модулю 3 с полиномом  $P(x) = x^5 \oplus_3 x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 x^2 \oplus_3 x \oplus_3 1$  с ускоренным в три раза формированием последовательности приведена на рис. 2.

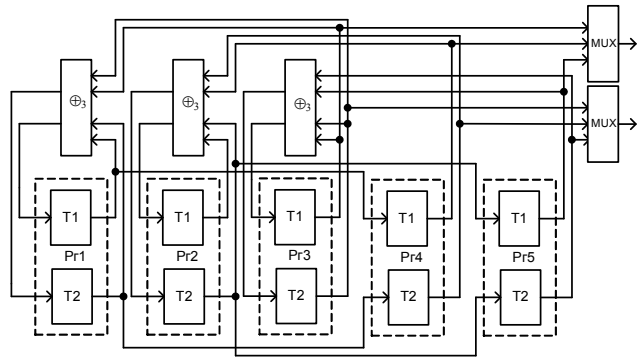


Рис. 2. Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по модулю 3 с полиномом  $P(x) = x^5 \oplus_3 x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 x^2 \oplus_3 x \oplus_3 1$  с ускоренным в три раза формированием последовательности

Рассмотрим работу генератора, который изображен на рис. 2. Пример формирования последовательности такого генератора имеет следующий вид:

$a_0$	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	2	0	1
$a_{21}$	2	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	2	0
$a_{31}$	2	2	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	2
$b_0$	122	112	111	011	001	100	110	211	121	212	221	022	102

### Выводы

Получен генератор псевдослучайных последовательностей по модулю 3, который формирует псевдослучайные последовательности с различной частотой. Максимальная частота формирования псевдослучайных последовательностей ограничивается только быстродействием выходного мультиплексора и не зависит от быстродействия остальных элементов генератора. Кроме ускоренных последовательностей на выходах генератора формируются и последовательности с частотой тактовых импульсов. Результаты исследования позволяют проводить параллельное тестирование на рабочих частотах модулей с различным быстродействием. Анализ фазовых сдвигов последовательностей не требует трудоемких вычислений. В целом, предлагаемый метод позволяет значительно повысить эффективность проведения тестового эксперимента без ухудшения качества тестирования.

### Список литературы

1. High-Frequency, At-Speed Scan Testing / X. Lin [et al.] // IEEE Design & Test of Computers. – September-October 2003. – P. 17-25.
2. Иванов М.А. Теория, применение и оценка генераторов псевдослучайных последовательностей. / М.А. Иванов, И.В. Чугунков. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с.
3. Bardell P.H. Built-in self-test for VLSI: pseudorandom techniques / P.H. Bardell, W. McAnney, J. Savir. – New York: John Wiley and Sons, 1987. – 354 p.
4. Рысованый А.Н. Выбор полиномов для нелинейных регистров со сдвига с обратными связями по критерию формирования последовательности максимальной длины /

А.Н. Рысований, В.В. Гоготов // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП ЦНДІ НІУ, 2007. – Вип. 1. – С. 77–79.

5. Рысований А.Н. Методика построения нелинейного генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по модулю 3 / А.Н. Рысований, В.В. Гоготов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – Вип. № 5-6. – С. 21-25.

6. Рысований А.Н. Выбор полиномов с  $DEGP(x) = 5$  для сигнатурных анализаторов в поле Галуа  $GF(3)$  по критерию формирования последовательности максимальной длиной / А.Н. Рысований, В.В. Гоготов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2007. – Вип. 2 (14). – С. 126-128.

7. Рысований А.Н. Выбор полиномов для сигнатурных анализаторов в поле Галуа  $GF(3)$  по критерию сложности технической реализации / А.Н. Рысований, В.В. Гоготов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Х.: НТУ «ХПІ», 2007. – №19. – С. 172-176.

8. Гоготов В.В. Определение периодической структуры последовательности, порождаемой многочленом с минимальным элементом разложения / В.В. Гоготов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Х.: НТУ «ХПІ», 2009. – №13. – С. 33-38.

9. Рысований А.Н. Сравнение двух генераторов псевдослучайных последовательностей по модулю три по максимальной длине формируемой последовательности / А.Н. Рысований, В.В. Гоготов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Х.: НТУ «ХПІ», 2009. – №43. – С. 172-179.

10. Knuth D.E. The Art of Computer Programming - Volume 2: Seminumerical Algorithms / D.E. Knuth - Addison-Wesley, 2nd ed., 1980. ISBN 0-201-03822-6. –P. 190-192.

Поступила в редколлегию 18.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

#### ГЕНЕРАТОР ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ПО МОДУЛЮ ТРИ З РІЗНОЮ ЧАСТОТОЮ ФОРМУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

О.М. Рисований, В.В. Гоготов

Розглянута можливість побудови генератора псевдовипадкової послідовності по модулю три, який формує псевдовипадкові послідовності з різною частотою. Проведено дослідження формованих генератором псевдовипадкових послідовностей. Результати дослідження дозволять проводити тестування пристроїв з різною швидкістю одночасно.

**Ключові слова:** генератор псевдовипадкових послідовностей, частота, модуль три, довжина формованої послідовності.

#### THE PSEUDORANDOM SEQUENCE GENERATOR ON MODULE THREE WITH DIFFERENT FREQUENCY OF PSEUDORANDOM SEQUENCE FORMATION

A.N. Risovaniy, V.V. Gogotov

The possibility of building of pseudorandom sequence generator on module three, which forms the pseudorandom sequences with different frequency, is considered. The study of pseudorandom sequences formed by generator is conducted. The results of study will allow to test the devices with different operating system at the same time.

**Keywords:** generator of pseudorandom sequences, frequency, module three, length of the formed sequence.