

Р. Л. ПОЛИТАНСКИЙ<sup>1</sup>, А. Д. ВЕРИГА<sup>2</sup>

Украина, <sup>1</sup>Национальный университет «Львовская политехника»,  
<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

E-mail: polroos@mail.ru, veriga@ukr.net

## КОДЕР И ДЕКОДЕР ФРАКТАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ГРЕБЕНЧАТОЙ СТРУКТУРЫ

Предложены схемотехнические решения и реализованы блоки кодирования и декодирования фрактальных сигналов гребенчатой структуры. Аппаратная реализация модулей управления этих блоков осуществлена на базе микроконтроллера PIC18F2550. Фрактальный сигнал формируется из байтовых последовательностей, которые записаны в памяти микроконтроллера в виде таблиц. Декодирование принятого сигнала осуществляется по его среднему значению.

Ключевые слова: фрактал, микроконтроллер, передатчик, кодер, приемник, декодер.

Фрактальные сигналы — новый класс широкополосных сигналов, которые могут быть использованы в помехоустойчивых и защищенных системах связи [1–5].

Следует отметить, что для практической реализации фрактальных сигналов, предложенных авторами [2–6], требуется использование дорогостоящей элементной базы (например, отладочной платы SPARTAN-3 с программируемой логической интегральной схемой XILINX SC3S200), а для воспроизведения сигнала с малой погрешностью восстановления разрядность схемы должна составлять не менее 12 битов [2].

Предложенные нами фрактальные сигналы гребенчатой структуры (ФСГС) состоят из электрических импульсов прямоугольной формы одинаковой длительности с разной амплитудой [7]. Математическая модель таких сигналов имеет следующий вид:

$$x(t) = \sum_{l=0}^{\omega} A_l \cdot \left( \sum_{k=1}^{2^{w-l}} U_l^k(t) \right) =$$

$$= \sum_{l=0}^{\omega} A_l \cdot \left\{ \sum_{k=1}^{2^{w-l}} [\Theta(t-t_l^k) - \Theta(t-t_l^k - \tau)] \right\},$$

где  $\omega$  — порядок фрактала;

$l$  — номер уровня фрактала;

$k$  — последовательный номер импульса  $l$ -го уровня во фрактале;

$A_l$  — амплитуда элементарного импульса  $l$ -го уровня;

$U_l^k(t)$  —  $k$ -й прямоугольный импульс  $l$ -го уровня единичной амплитуды;

$t_l^k$  — момент начала импульса  $U_l^k(t)$ ;

$\Theta(t)$  — функция Хевисайда;

$\tau$  — длительность элементарного импульса (одинаковая для всех импульсов).

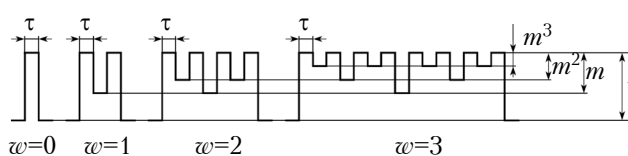


Рис. 1. Последовательные этапы формирования фрактальных импульсов из элементарных импульсов с одинаковой длительностью с порядками фрактала  $\omega$  от 0 до 3

Фрактал  $\omega$ -го порядка состоит из  $2^{\omega+1}-1$  элементарных прямоугольных импульсов одинаковой длительности  $\tau$ , которые могут быть разделены на  $\omega+1$  уровня по их значениям. Амплитуда импульсов элементарных фрагментов соответствующего уровня равна  $m^l$ . Структура фрактальных сигналов первых четырех порядков с коэффициентом формирования  $m$ , равным  $1/2$ , приведена на рис. 1.

Целью настоящей работы является разработка кодера и декодера информационных сигналов, сформированных с использованием предложенных ФСГС, на основе микроконтроллеров.

### Практическая реализация кодера и декодера

Кодер и декодер предложенных фрактальных сигналов состоят из идентичных модулей управления, а их управляемые модули имеют различные схемотехнические решения [7, 8].

Модуль управления (рис. 2) осуществляет формирование и распознавание сигналов, а также осуществляет функцию обмена данными с компьютером.

Основным элементом модуля управления является микроконтроллер PIC18F2550 (DD1) фирмы MicroChip [9], выполняющий функции аппаратного программируемого ядра. Его тактовая частота задается внешним генератором DA1 (КХО-210 40.0MHz) [10].

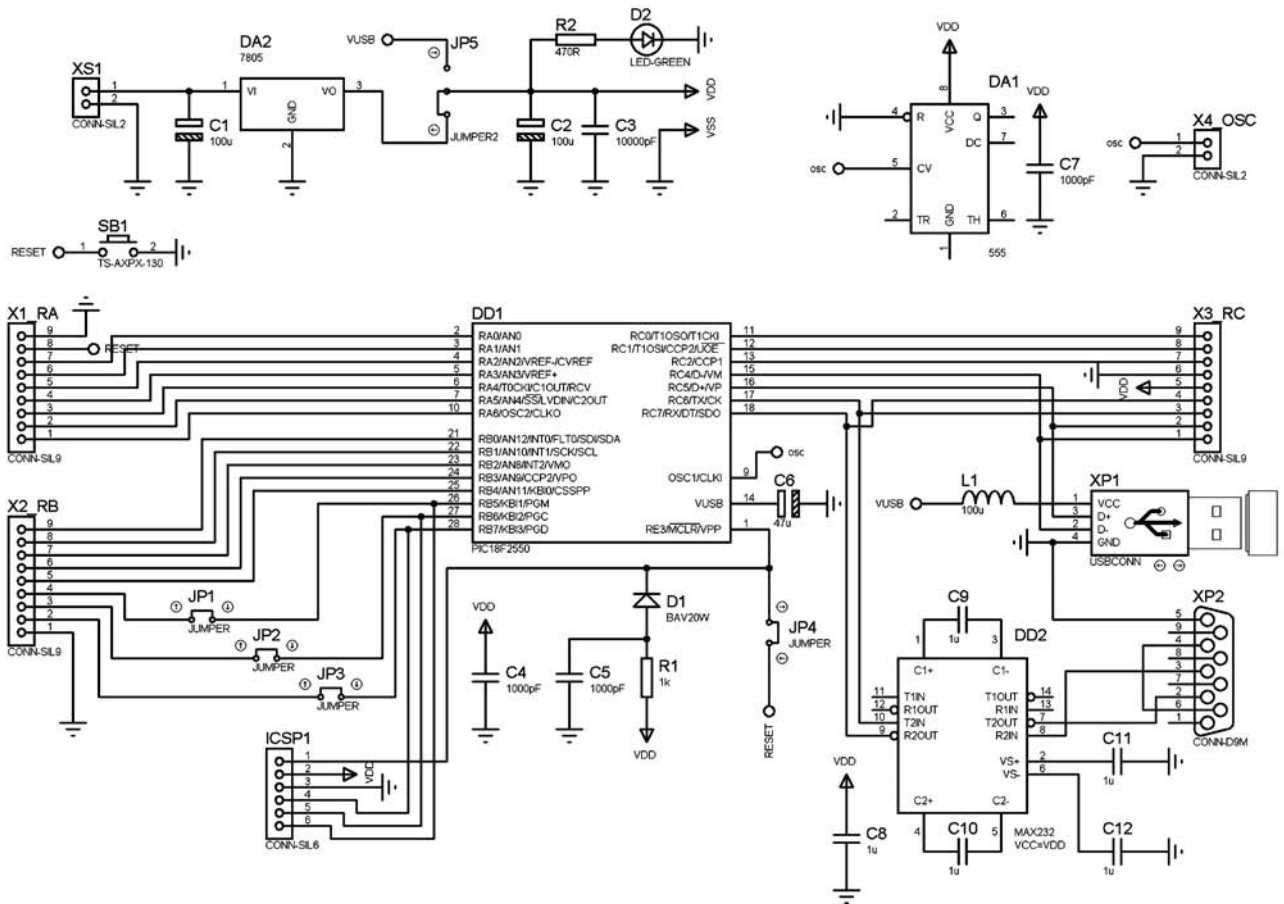


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема модуля управления кодера и декодера

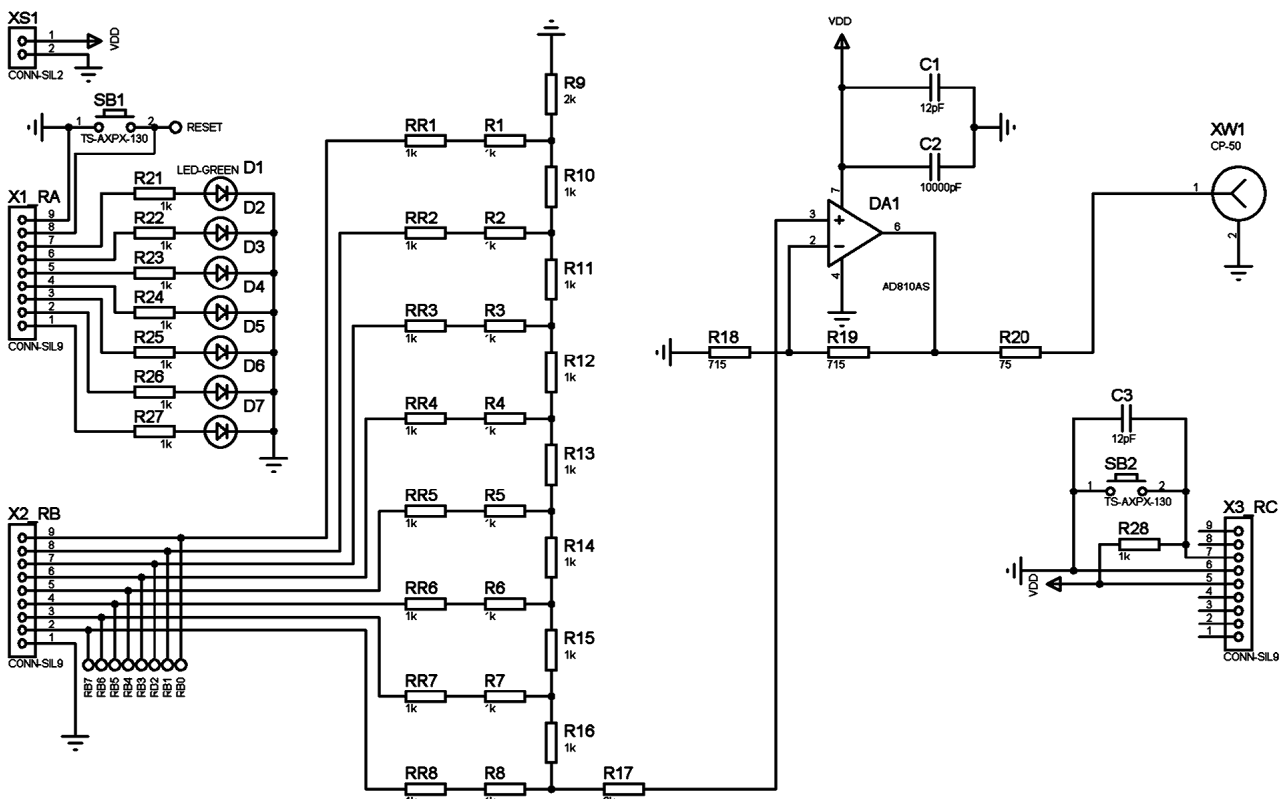


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема управляемого модуля кодера

Связь микроконтроллера с компьютером может осуществляться через порты USART (разъем *XP2*) и USB (разъем *XP1*). Микросхема MAX232 [11] (*DD2*) осуществляет согласование интерфейса RS-232 (COM-порта компьютера) с портом USART микроконтроллера.

В схеме модуля управления используются микросхемы с однополярным питанием +5 В, которое осуществляется интегральным стабилизатором LM7805 [12]. При этом имеется возможность запитывать схему кодера от источника напряжением до +15 В.

Принципиальная схема управляемого модуля кодера приведена на рис. 3. Сочетание управляющего и управляемого модулей кодера позволяет

генерировать фрактальные сигналы гребенчатой структуры с произвольным порядком фрактала.

Последовательности кодов фрактала соответствующего уровня, выбираемые из таблицы, хранящейся в памяти микроконтроллера, преобразовываются во фрактальный сигнал с помощью резисторов ( $RR1-RR8$ ,  $R1-R16$ ), собранных в матрицу  $R-2R$ . Это позволяет реализовать наиболее быстродействующую и простую схему параллельного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) [13]. Высокое значение отношения сопротивления транзисторных ключей порта  $RB$  микроконтроллера в закрытом и открытом состояниях ( $R_3/R_0=2\cdot 10^6$ ) обеспечивает возможность их использования в качестве

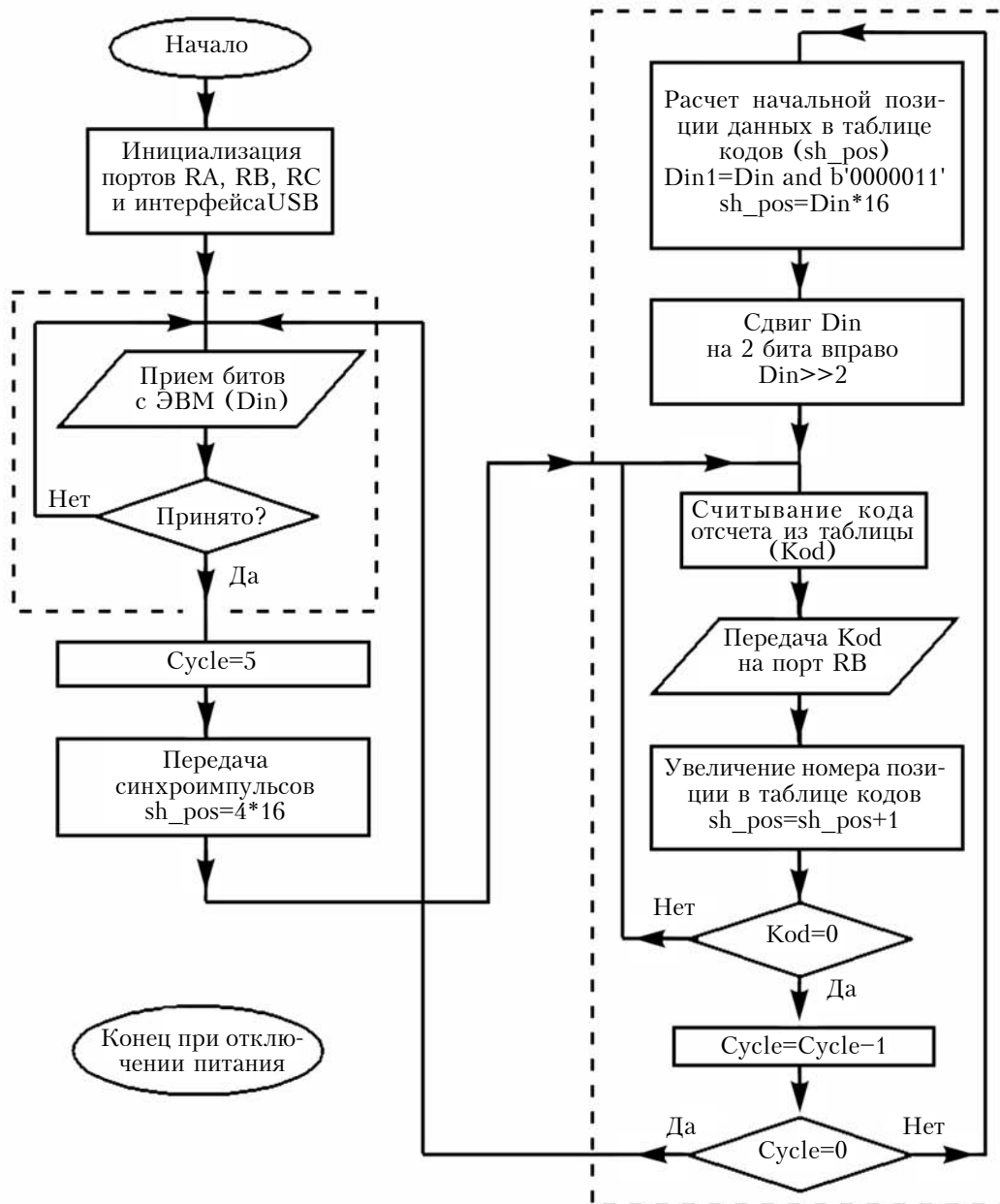


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы программы контроллера

коммутаторов тока в ЦАП [9]. При этом необходимая разрядность кодера и декодера должна быть на единицу больше порядка фрактала ( $q_{АПЧ} = w + 1$ ). Удовлетворительная линейность преобразования «код — напряжение» обеспечивается минимальным разбросом значений сопротивления резисторов матрицы за счет использования резисторов одинакового номинала, принадлежащих одной серии.

Согласование выходного сопротивления  $R-2R$ -матрицы с волновым сопротивлением коаксиального кабеля, используемого для передачи информационных фрактальных сигналов, достигалось применением операционного усилителя AD810 (DA1) [14].

Кодер системы осуществляет формирование и преобразование во фрактальный сигнал заданного порядка последовательности двоичных параллельных кодов на выходе порта  $RB$  в соответствии с информационными битами, поступающими от компьютера.

Длительность фрактальных сигналов зависит от тактовой частоты и длины блока программы, который формирует необходимый сигнал. С целью экономии временных затрат микроконтроллера на формирование фрактальных сигналов использовали таблицу рассчитанных значений амплитуд элементарных прямоугольных импульсов, составляющих их структуру.

Выборка значений последовательности отсчетов фрактала из соответствующей строки таблицы производится в соответствии с битами входного информационного байта, принимаемого с компьютера. Это позволяет обеспечить минимально возможную для используемого семейства микроконтроллеров (МК) длительность фрактальных импульсов. Алгоритм работы «защитой» в контроллер программы приведен на **рис. 4**.

Алгоритм предусматривает кодирование передаваемой информации двухбитовыми символами. Обеспечение распознавания начала передачи каждого байта по каналу связи осуществляется передачей сигнала синхронизации.

Блок выборки последовательности кодов, соответствующих заданным уровням фрактала, из таблицы написан на языке программирования «ассемблер» с минимальным количеством команд, что позволяет формировать фрагменты импульсов длительностью 20 мкс при частоте тактового генератора микроконтроллера 4 МГц. Переход к генерации следующего фрактального импульса осуществляется выполнением дополнительных команд в течение паузы между импульсами, составляющей 40 мкс.

В декодере микроконтроллер осуществляет прием и декодирование принятых фрактальных сигналов с последующей их передачей на ком-

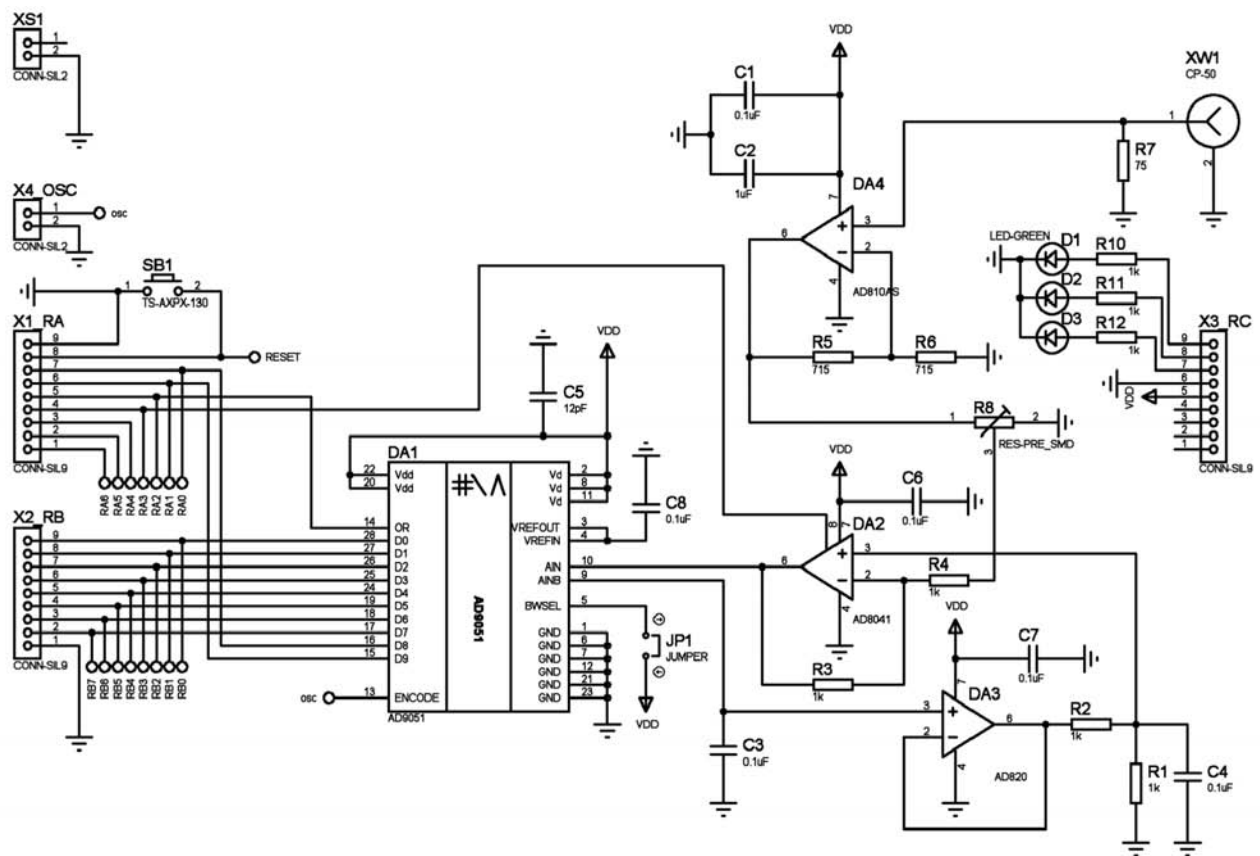


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема управляемого модуля декодера

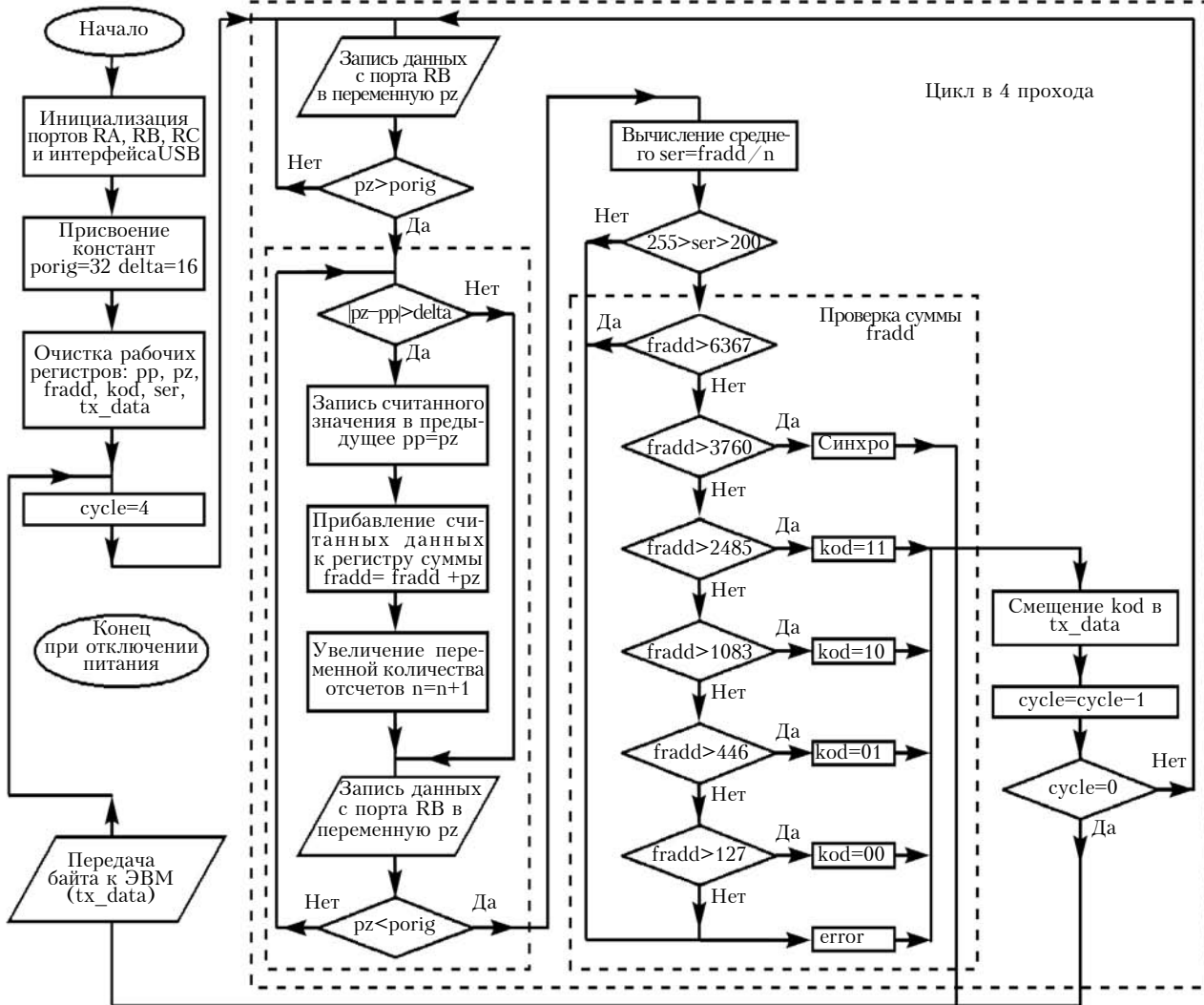


Рис. 6. Блок-схема алгоритма работы программы модуля управления декодера

пьютер. Схема управляемого модуля декодера фрактальных сигналов гребенчатой структуры приведена на **рис. 5**.

Преобразование сигнала из аналоговой формы в цифровую осуществлялось с помощью АЦП AD9051 фирмы Analog Devices [15] с необходимым для декодирования быстродействием. Схема входа на операционных усилителях AD820 [16] и AD8041 [17] позволяет организовать преобразование однополярного сигнала. Тактирование АЦП осуществляется от тактового генератора микроконтроллера.

Согласование волнового сопротивления коаксиального кабеля с входным сопротивлением схемы осуществляется с помощью операционного усилителя AD810 (DA4) [14].

Индикация режимов работы схемы осуществляется светодиодами.

Алгоритм работы программы микроконтроллера модуля управления декодера представлен на **рис. 6**.

Разработанный алгоритм обеспечивает определение порядка фрактального импульса. Декодирование фрактальных импульсов гребенчатой структуры осуществляется по значению суммы амплитуд элементарных импульсов, составляющих фрактальный сигнал. Отслеживание начала и завершения передачи фрактального импульса осуществляется проверкой отличия кода на входе порта RB от нуля.

#### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Экспериментальные сигналы, генерированные разработанным кодером фрактальных сигналов гребенчатой структуры, исследовались с помощью осциллографа ТЕКТРОНИХ (**рис. 7**). Тактовая частота контроллера, задаваемая включенным в схему кварцевым резонатором, составляла 4 МГц.

Минимальная длительность фрагментов генерированных фрактальных импульсов при тактовой частоте контроллера 40 МГц составляет

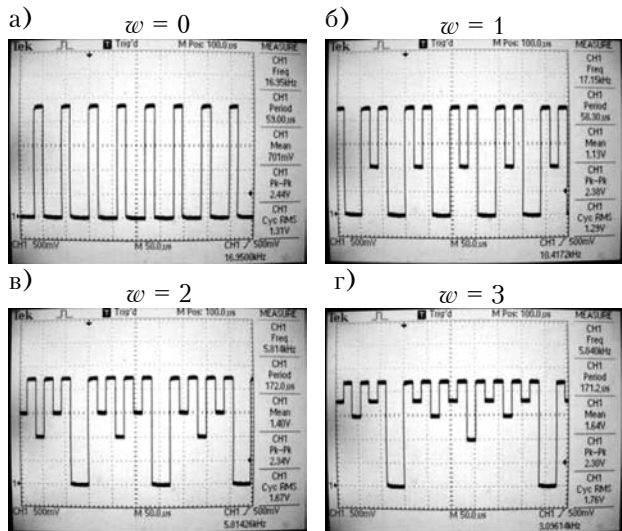


Рис. 7. Осциллограммы генерированных фрактальных сигналов с различным порядком фрактала  $\omega$

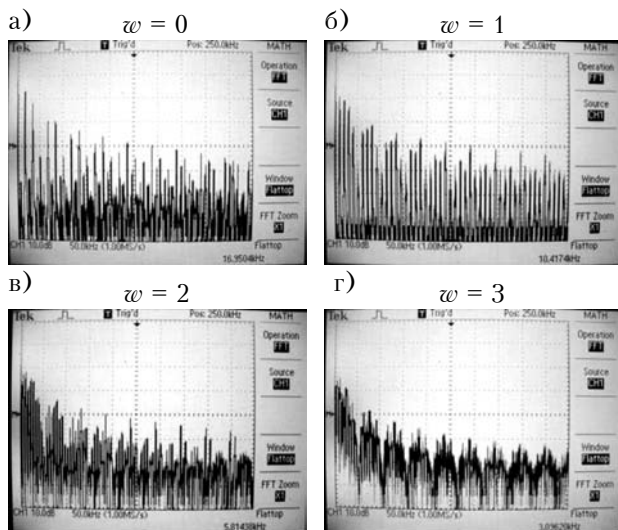


Рис. 8. Спектры фрактальных сигналов гребенчатой структуры, генерированных предложенной схемой, для различных порядков фрактала  $\omega$

2 мкс. Это обеспечивает скорость передачи данных около 80000 бит/с при кодировании логической единицы фракталом первого порядка, а логического нуля — его отсутствием. При кодировании логических единицы и нуля фракталами разных порядков скорость передачи информации определяется структурой информационных последовательностей (длиной фрагментов, состоящих из логических нулей и единиц). Кодирование информационных символов разрядности  $n$  битов осуществляется количеством фрактальных сигналов разного порядка, равным  $2^n$ .

Экспериментальные амплитудные спектры исследованных сигналов приведены на рис. 8.

Спектры фрактальных сигналов исследовались в диапазоне частот 0—500 кГц. Как и сле-

довало ожидать, полученные спектры соответствуют огибающей спектра прямоугольного импульса. На основании экспериментально полученных спектров расчетные значения базы фрактальных сигналов порядков 0; 1; 2 и 3 составили 0,9; 2,9; 5,9 и 7,8 соответственно. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что сформированные с помощью предложенного кодера фрактальные сигналы являются широкополосными и могут быть использованы в системах помехоустойчивой передачи информации [6].

Тестирование кодера и декодера производилось передачей текстовой информации между двумя компьютерами. Связь между блоками кодера и декодера осуществлялась по коаксиальному кабелю длиной 10 м с волновым сопротивлением 75 Ом. Было установлено, что передаваемый текст из тысячи символов декодируется без ошибок.

### Выводы

Прямоугольная форма элементарных фрагментов фрактального импульса упрощает способ формирования и аппаратную реализацию кодера и декодера. Для хранения вектора отсчетов ФСГС порядка  $\omega$  достаточно  $2^\omega$  байтов. Малая длина вектора сигнала упрощает требования к тактовой частоте схемы. Минимальная разрядность ЦАП, необходимая для генерации ФСГС четвертого порядка, равняется четырем битам. Применение такого импульса устраняет необходимость использования аналогового сглаживающего фильтра на выходе цифро-аналогового преобразователя.

Предложенные схемы кодера и декодера фрактальных сигналов гребенчатой структуры работают на основе микроконтроллеров «среднего семейства» фирмы Microchip. Максимальное быстродействие схем обеспечивает произведенная оптимизация алгоритмов и кодов программ, «защитых» в микроконтроллерах кодера и декодера. Минимальное значение длительности элементарных фрагментов импульсов составляет 20; 4; 2 мкс при тактовых частотах 4; 20; 40 МГц соответственно.

Скорость передачи данных ограничивается временем декодирования. При тактовой частоте 40 МГц достигнутая скорость передачи данных между блоками составила в среднем 16000 бит/с. Увеличить скорость передачи данных можно путем использования микропроцессорных схем с более высокой тактовой частотой или программированных логических интегральных схем, а также оптимизацией способа детектирования.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Федер Е. Фракталы. — Москва: Мир, 1991.
2. Bolotov V. N., Kolesnikov S. E., Tkach Yu. V., Tkach Ya. Yu., Khupchenko P. V. Fractal communication system // Electromagnetic Phenomena. — 2007. — Vol. 7, N 1 (18).
3. Новікова О. Б. Фрактальний сплайн-модель широкопосмугового сигналу // Вісник Національного

університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. — 2012. — № 738. — С. 28–33.

4. Лазоренко О. В., Потапов А. А., Черногор Л. Ф. Фрактальные сверхширокополосные сигналы // В кн.: Струков А. В., Потапов А. А., Черногор Л. Ф. и др. Информационная безопасность: методы шифрования. — Кн. 7. Москва: Радиотехника, 2011. — С. 151–187.

5. Політанський Р. Л., Климаш М. М. Метод кластерного кодування // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — Т. 5, № 3(39). — С. 50–53.

6. Болотов В. Н., Ткач Ю. В. Выделение фрактальных сигналов в условиях сложной электромагнитной обстановки // Электромагнитные явления. — 2003. — Т. 3, № 2(10). — С. 211–227.

7. Верига А. Д., Політанський Р. Л. Генератор фрактальних сигналів типу „прямокутний імпульс” на мікроконтролері // Праці IV Міжнарод. науково-практич. конферен. „Обробка сигналів і негаусівських процесів”. — Україна, м. Черкаси. — 2013. — С. 132–134.

8. Верига А. Д., Політанський Р. Л. Декодер фрактальних сигналів гребінкової структури // Матеріали III Міжнарод. науково-практич. конферен. „Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів

телекомунікації, нано- та мікроелектроніки”. — Україна, м. Чернівці. — 2013. — С. 84–85.

9. [ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf)

10. [http://www.geyer-electronic.com/uploads/tx\\_userartikelfrequenz/GEYER-KXO-210\\_02.pdf](http://www.geyer-electronic.com/uploads/tx_userartikelfrequenz/GEYER-KXO-210_02.pdf)

11. [www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf)

12. [www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf](http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf)

13. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. — СПб: БХВ-Петербург, 2004.

14. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD810.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD810.pdf)

15. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD9051.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9051.pdf)

16. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD820.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD820.pdf)

17. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD8041.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8041.pdf)

Дата поступления рукописи  
в редакцию 05.03 2014 г.

Р. Л. ПОЛІТАНСЬКИЙ, А. Д. ВЕРИГА

Україна, м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»;  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

E-mail: polroos@mail.ru, veriga@ukr.net

## КОДЕР І ДЕКОДЕР ФРАКТАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ГРЕБІНЧАСТОЇ СТРУКТУРИ

*Запропоновано схематичні рішення і реалізовано блоки кодування і декодування фрактальних сигналів гребінчастої структури. Апаратна реалізація модулів управління цих блоків здійснена на базі мікроконтролера PIC18F2550. Фрактальний сигнал формується з байтових послідовностей, які записані в пам'яті мікроконтролера у вигляді таблиць. Декодування прийнятого сигналу здійснюється за його середнім значенням.*

*Ключові слова:* фрактал, мікроконтролер, передавач, кодер, приймач, декодер.

DOI: 10.15222/TKEA2014.4.13  
UDC 004.312.26

R. L. POLITANSKYI<sup>1</sup>, A. D. VERYGA<sup>2</sup>

Ukraine, <sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University;  
<sup>2</sup>Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

E-mail: polroos@mail.ru, veriga@ukr.net

## CODER AND DECODER OF FRACTAL SIGNALS OF COMB-TYPE STRUCTURE

*The article presents a coder and decoder of fractal signals of comb-type structure (FSCS) based on microcontrollers (MC). The coder and decoder consist of identical control modules, while their managed modules have different schematic constructions. The control module performs forming or recognition of signals, and also carries out the function of information exchange with a computer. The basic element of the control module is a PIC18F2550 microcontroller from MicroChip.*

*The coder of the system forms fractal signals of a given order according to the information bits coming from the computer. Samples of the calculated values of the amplitudes of elementary rectangular pulses that constitute the structure of fractal pulses are stored in the memory of the microcontroller as a table. Minimum bit capacity of the DAC necessary for the generation of FSCS of fourth order is four bits. The operation algorithm, “wired” into the controller of the program, provides for encoding of the transmitted information by two-bit symbols. Recognition of the start of transmission of each byte in communication channel is performed by the transmission of the timing signal.*

*In a decoder the microcontroller carries out reception and decoding of the received fractal signals which*

are then transmitted to the computer. The developed algorithm of the program for the microcontroller of the decoder is carried out by determination of order of fractal impulse after the value of sum of amplitudes of elementary impulses, constituents fractal signal.

The programs for coder and decoder are written in "C". In the most critical places of the program influencing on the fast-acting of chart "assembler" insertions are done.

The blocks of the coder and decoder were connected with a coaxial 10 meters long cable with an impedance of 75 Ohm.

The signals generated by the developed coder of FSCS, were studied using a digital oscillograph. On the basis of the obtained spectrums, it is possible to draw a conclusion, that the fractal signals formed by the coder are wideband and can be used in noise-resistant and protected communication systems.

**Keywords:** fractal, microcontroller, transmitter, coder, receiver, decoder.

## REFERENCES

1. Feder E. [Fraktals] Moscow, Mir, 1991, 261 p. (in Russian)
2. Bolotov V. N., Kolesnikov S. E., Tkach Yu. V., Tkach Ya. Yu., Khupchenko P. V. Fractal Communication System. *Electromagnetic Phenomena*. 2007, vol. 7, no 1 (18), pp. 174-179.
3. Novikova O. B. Fraktal'nii spline-model' shirokosmugovogo signalu [Fraktal spline-model of wideband signal] *Visnik Natsional'nogo universitetu «L'viv's'ka politehnika»*. *Radioelektronika ta telekomunikatsiyi*. 2012, no 738, pp. 28-33. (in Russian)
4. Lazorenko O. V., Potapov A. A., Chernogor L. F. Fraktal'nye sverkhshirokopolosnye signaly [Fractal UWB signals]. In book: Strukov A. V., Potapov A. A., Chernogor L. F. et al. *Informatsionnaya bezopasnost': metody shifrovaniya* [Informative safety: methods of encoding]. Book 7. Moscow, Radio engineering, 2011, pp. 151-187. (in Russian)
5. Politans'kii R. L., Klimash M. M. Metod klaster'nogo koduvannya [Cluster coding method]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*. 2012, vol. 5, no 3(39), pp. 50-53. (in Russian)
6. Bolotov V. N., Tkach Yu. V. Vydelenie fraktal'nykh signalov v usloviyakh slozhnoi elektromagnitnoi obstanovki [Extracting of fractal signals in conditions of complex electromagnetic conditions] *Elektromagnitnye yavleniya*. 2003, vol. 3, no 2(10), pp. 211-227. (in Russian)
7. Veriga A. D., Politans'kii R. L. Generator fraktal'nikh signaliv tipu «pryamokutneyi impul's» na mikrokontroleri [Generator of the fractal signals of „rectangular pulse” type on microcontroller]. *Proceed. of the IV international scientific-practical conference «Processing of signals and non-gaussian processes»*. Ukraine, Cherkasy. 2013, pp. 132-134. (in Russian)
8. Veriga A. D., Politans'kii R. L. Dekoder fraktal'nikh signaliv grebinkovoyi strukturi [Decoder of fraktal signals of comb structure]. *Proceed. of the III international scientific-practical conference «Physical and technological problems of radio engineering devices, telecommunication, nano- and micro-electronics»*. Ukraine, Chernivtsi. 2013, pp. 84-85. (in Russian)
9. [ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf)
10. [http://www.geyer-electronic.com/uploads/tx\\_userartikelfrequenz/GEYER-KXO-210\\_02.pdf](http://www.geyer-electronic.com/uploads/tx_userartikelfrequenz/GEYER-KXO-210_02.pdf)
11. [www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf)
12. [www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf](http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf)
13. Ugryumov Ye. P. *Tsifrovaya shemotekhnika* [Digital circuitry]. St. Petersburg. BKhV-Peterburg, 2004.
14. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD810.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD810.pdf)
15. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD9051.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9051.pdf)
16. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD820.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD820.pdf)
17. [www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD8041.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8041.pdf)

## НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

### Справочник по радиолокации. В двух кн. / Под ред. М.И. Сколника. — Москва: Техносфера, 2014.

Это третье издание «Справочника по радиолокации». Радиолокационная техника как для гражданского применения, так и для военных целей продолжает развиваться в направлениях расширения области применения и совершенствовании технологии. Некоторые темы, отраженные в предыдущих изданиях справочника, которые представляют сейчас меньший интерес, были исключены из текущего издания.

