

ПРОГРАММНЫЙ РАСЧЕТ МНОГОУРОВНЕВЫХ РЕКУРСИВНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ И ПРОВЕРКА ИХ СВОЙСТВ

В. О. Старостенко

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Руководитель Е. А. Храбров

Среди фазоманипулированных (ФМн) сигналов особое место занимают сигналы, кодовые последовательности которых являются последовательностями максимальной длины или М-последовательностями. Они имеют очень хорошие корреляционные свойства и довольно легко можно реализовать их формирование на основе регистров сдвига. В данный момент в качестве кодовых последовательностей фазоманипулированных сигналов очень широко используются двухуровневые М-последовательности, но из-за низкой структурной скрытности возрастает вероятность несанкционированного доступа к передаваемой информации. Решить эту проблему можно, используя в качестве кодовых последовательностей М-последовательности с основанием больше 2-х (3, 5, 7 и т. д.).

Общая схема сдвигающего регистра, формирующего М-последовательность, представлена на рис. 1.

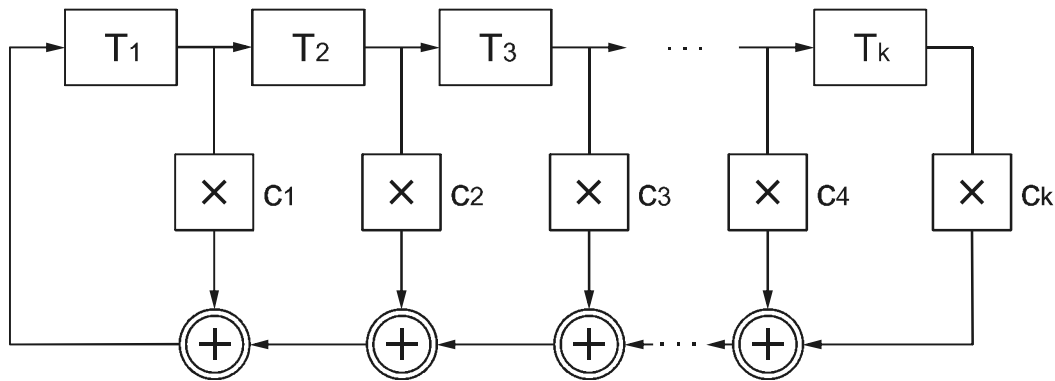


Рис. 1. Общая схема сдвигающего регистра

При заданной разрядности регистра (k) и основания системы счисления (p) период формируемой последовательности определяется схемой включения отводов сдвигающего регистра, т. е. коэффициентами c_1, c_2, \dots, c_k . Таким образом, выбор соединений отводов сдвигающего регистра в цепи обратной связи для получения максимального периода последовательности при заданном числе разрядов регистра и основания системы счисления является одной из важных проблем при построении схем данного типа. Есть способы определения структуры регистра сдвига с помощью неприводимых многочленов. Но так как общего метода нахождения первообразных многочленов в настоящее время не существует (есть только таблицы, с ограниченной степенью), в программе MathCad был написан алгоритм вычисления коэффициентов c_1, c_2, \dots, c_k определяющих структуру регистра сдвига. Позже, для ускорения вычислений, этот алгоритм был реализован на C++.

```

C:\ D:\Другое\#Учеба\Многоуровневая логика\MnogoznMPos\Win32.exe
Insert P and K, please:
3 4
Sequences is:
0 0 1 1
0 0 2 1
1 0 0 1
1 1 2 1
1 2 2 1
2 0 0 1
2 1 1 1
2 2 1 1
Number of sequences is : 8
Thats all... Good bye! :>

```

Рис. 2. Результат выполнения программы

Данная программа вычисляет и выводит на экран все коэффициенты, с помощью которых определяется структура регистра сдвига, формирующего последовательность максимальной длины с произвольным основанием, и подсчитывает их количество.

Определив коэффициенты, с помощью которых формируются M -последовательности, нужно исследовать их свойства. Свойства ФМн сигналов с двухуровневыми кодовыми M -последовательностями хорошо исследованы, это, скорее всего, связано с простотой их анализа (в первую очередь имеются в виду корреляционные свойства). Для изучения корреляционных свойств ФМн сигналов многоуровневыми кодовыми

М-последовательностями необходимо формировать сам сигнал, что сильно увеличивает время расчета автокорреляционной функции и затрудняет их анализ, несмотря на это, пока только в MathCad, разработана программа анализа минимаксных значений автокорреляционных функций усеченных М-последовательностей. Результаты, полученные с помощью этой программы, сведены в таблицу.

	k	N	$R_{\text{мин макс}}$	Коэффициент
$p = 3$	2	8	0,1875	11
	3	26	0,1299	012
	4	80	0,07884	0011
	5	242	0,046164	00012
$p = 5$	2	24	0,1281	32
	3	124	0,0678167	113

На рис. 3 приведена автокорреляционная функция ФМн минимаксного сигнала трехуровневой М-последовательностью с количеством символов $N = 26$.

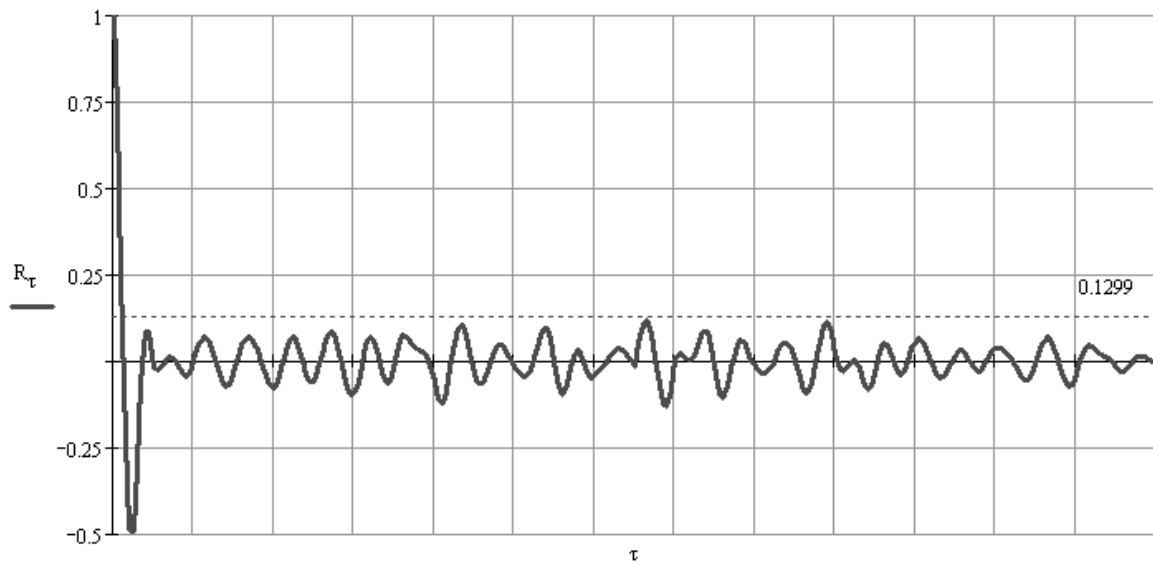


Рис. 3

При использовании многоуровневых кодовых М-последовательностей спектр сигнала расширяется незначительно, это говорит о том, что их можно использовать в тех же условиях, где используются двухуровневые. На рис. 4 приведены графики спектров ФМн сигналов двух-, трех- и пятиуровневыми М-последовательностями примерно равной длины ($N = 31, 26, 24$ соответственно). Ниже на рис. 5 изображена корреляционная функция одного периода ФМн сигнала трехуровневой М-последовательностью и трех периодов (для $N = 26$, частота поднесущей $f = 1$ кГц).

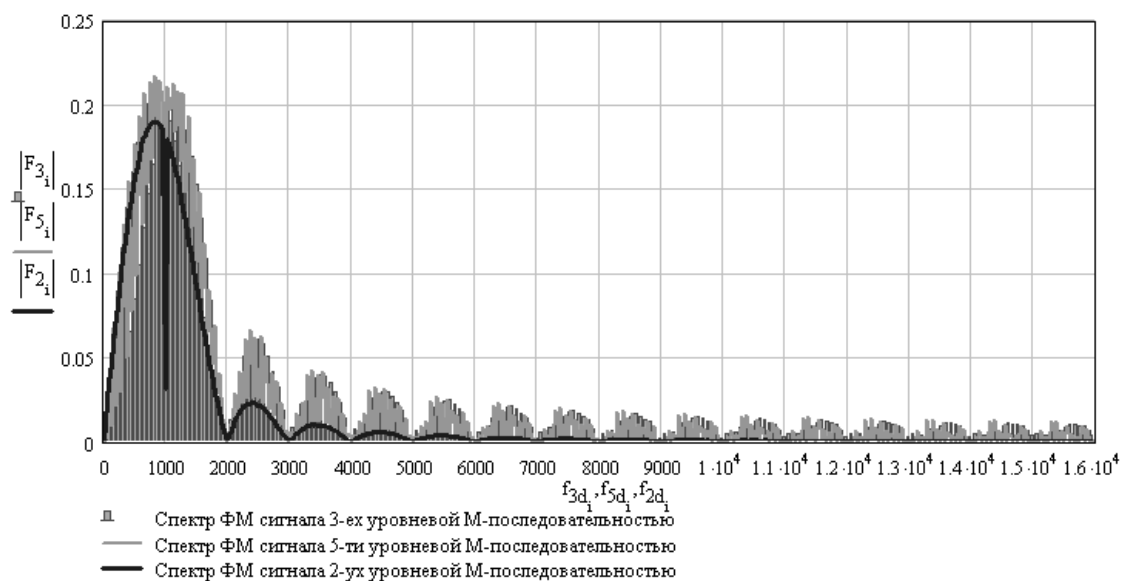


Рис. 4

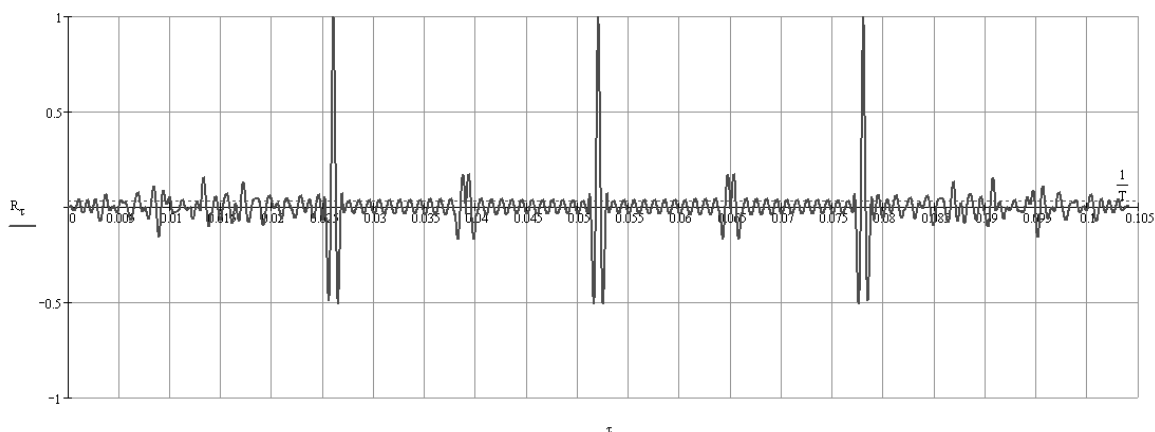


Рис. 5

Выводы

1. Применение многоуровневых фазоманипулированных сигналов улучшает их корреляционные свойства, что делает их более помехоустойчивыми. Для примера минимаксное значение двухуровневой последовательности с количеством символов $N = 31$ $R_{\min \max} = 0,129$, когда для трехуровневой последовательности $R_{\min \max} = 0,13$ при $N = 26$. Что примерно на 15 % уменьшает время передачи.

2. Также последовательности максимального периода с основанием больше двух позволяют повысить структурную скрытность, что делает целесообразным их применение в системах связи.

Литература

1. Варакин, Л. Е. Теория сложных сигналов / Л. Е. Варакин. – Москва : Совет. радио, 1970. – 376 с.
2. Свердлик, М. Б. Оптимальные дискретные сигналы / М. Б. Свердлик. – Москва : Совет. радио, 1975. – 200 с.