

# Моделирование и исследование блоков сотовых систем связи в среде MicroCap 9

Олег СОКОЛОВ,  
к. т. н.

**В 1990-х годах были разработаны и получили широкое применение сотовые системы второго поколения, основанные на цифровых методах формирования и обработки сигналов при частотном и временном принципах разделения каналов абонентов сети.**

Радикальным решением проблемы дальнейшей эволюции сотовых систем связи в настоящее время стало применение нового стандарта сотовой связи, основанного на технологии цифровых шумоподобных сигналов и кодового разделения каналов — CDMA (Code Division Multiple Access, множественный доступ с кодовым разделением).

При CDMA-технологии каждый из каналов системы полностью использует весь выделенный частотно-временной ресурс, поскольку радиоканалы систем CDMA перекрываются как по времени, так и по частоте. Разделение сигналов отдельных каналов осуществляется за счет того, что каждый канал имеет свою «поднесущую» — адресную кодовую последовательность, сформированную, в частности, по закону одной из 64 функций Уолша [1]. Иначе говоря, сигналы различных абонентов существенно отличаются по форме.

При таком способе разделения передаваемая информация снабжается адресом, роль которого выполняют выделенные сигналы. Наличие адресов позволяет реализовать асинхронный режим совместной работы многих абонентов.

При кодовом разделении имеют место взаимные помехи, которые являются следствием одновременной работы абонентов в общей полосе частот. Однако при этом можно так выбрать параметры сигналов, что уровень взаимных помех будет сколь угодно малым, то есть обеспечить заданную помехоустойчивость.

Особенности и характеристики блоков, моделирующих функции Уолша, а также построение генераторов этих функций на уровне структурных схем рассматриваются, например, в работах [2, 3]. При этом отсутствует описание синтеза этих устройств в широко используемой программе MicroCap 9 [4].

Представляет интерес моделирование блоков, синтезирующих сигналы Уолша, а также возможность исследовать их характеристики в программе моделирования электронных средств.

В этой статье описывается создание модели, синтезирующей 16 сигналов Уолша в среде MicroCap 9, исследование функций автокорреляционных и функций взаимной корреляции синтезируемых фазоманипулированных сигналов по Уолшу, а также их спектральных характеристик.

Схема блоков, синтезирующих сигналы Уолша, приведена на рис. 1. Слева показана цифровая схема, на выходах которой воспроизведены сигналы Радамахера.

В этой схеме система функций Уолша определяется через функции Радамахера. Система функций Радамахера в модификации Пэли на интервале [0, 1] описывается следующими соотношениями [1, 2]:

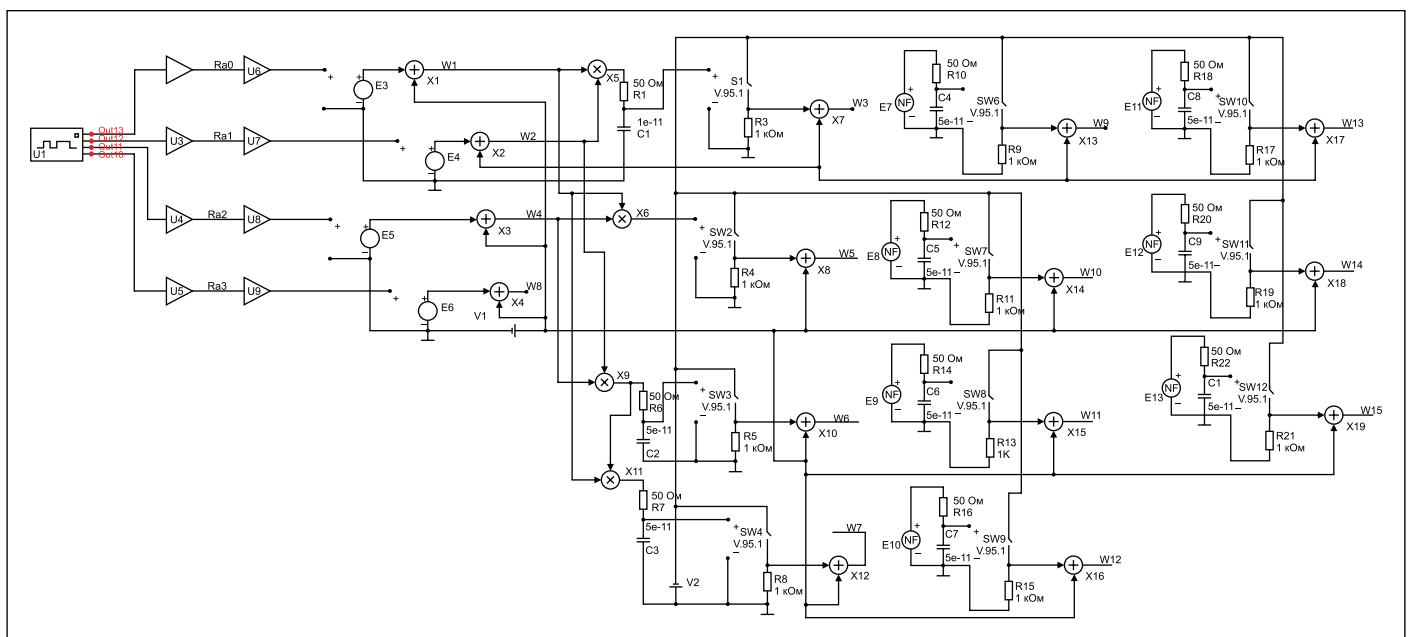


Рис. 1. Схема модели, синтезирующей 16 сигналов Уолша в среде MicroCap 9

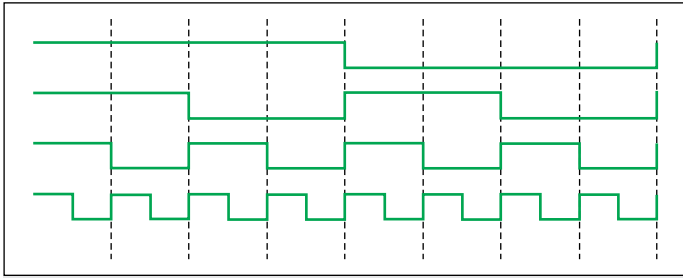


Рис. 2. Осциллограммы четырех сигналов Радамахера

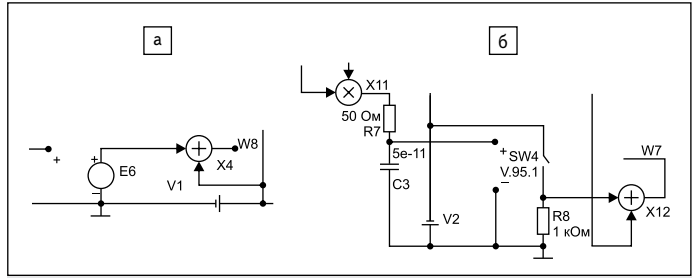


Рис. 4. Формирователь сигналов Уолша: а) первого типа; б) второго типа

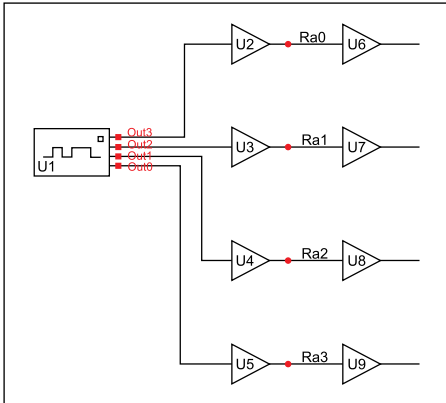


Рис. 3. Схема цифровых и буферных блоков формирователей сигналов Радамахера

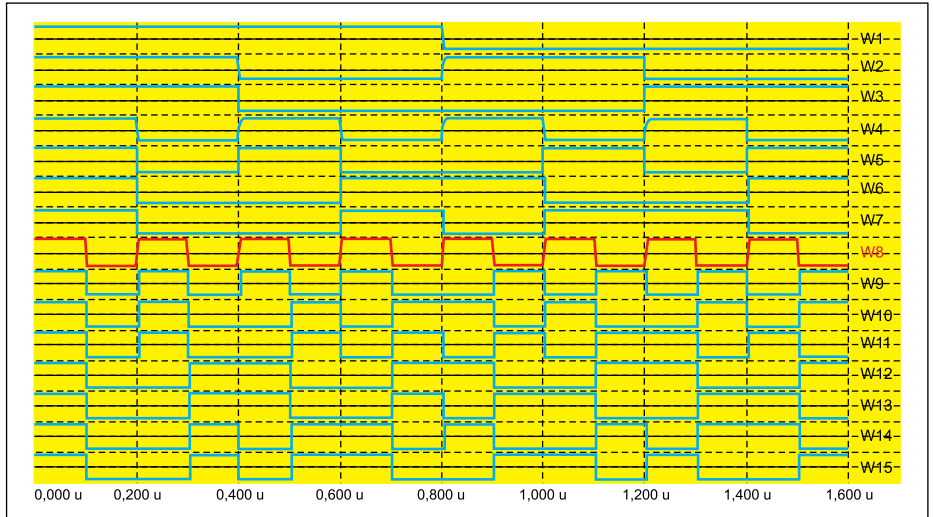


Рис. 5. Осциллограммы 15 сигналов Уолша W1–W15

$$\varphi_0(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 \leq t \leq 0,5 \\ -1, & \text{при } 0,5 \leq t \leq 1 \end{cases}$$

Вне интервала  $[0, 1]$  функция  $\varphi_0(t)$  продолжается периодически —  $\varphi_0(t+1) = \varphi_0(t)$ .

Функция Радамахера  $\varphi_n(t)$  с номером  $n$ , где  $n$  — целое положительное число, образуется сжатием  $\varphi_0(t)$  вдоль оси  $t$  в  $2^n$  раз —  $\varphi_n(t) = \varphi_0(2^n t)$ . Осциллограммы цифровых сигналов Радамахера приведены на рис. 2.

Характерной особенностью рассматриваемых цифровых сигналов Радамахера в программе MicroCap 9 является то, что значения сигналов, превышающие верхний порого-

вый уровень, соответствуют «лог. 1», а значения сигнала, которые меньше, чем нижний пороговый уровень, соответствуют «лог. 0». Этот способ кодирования сигналов носит название «позитивная логика».

Для получения сигналов Уолша, которые принимают значения  $\pm 1$ , необходимо перейти к аналоговым сигналам. Поэтому цифровые выходы формирователей сигналов Радамахера через буферные блоки U6–U9 подсоединены к аналоговым блокам формирователя сигналов Уолша (рис. 3).

На основе функций Радамахера определяется полная ортонормированная система функций Уолша:

$$w_0(t) = 1, w_n(t) = \varphi_{n_1}(t) \times \varphi_{n_2}(t) \times \dots \times \varphi_{n_i}(t),$$

где  $n = 2^{n_1} + 2^{n_2} + \dots + 2^{n_i}$ ;  $n_i$  — старший разряд по отношению к  $n_{i+1}$ .

Запишем первые 16 функций Уолша как произведения функций Радамахера:

$$\begin{aligned} w_{0000}(t) &= w_0(t) = 1, \\ w_{0001}(t) &= w_1(t) = \varphi_0(t), \\ w_{0010}(t) &= w_2(t) = \varphi_1(t), \\ w_{0011}(t) &= w_3(t) = \varphi_1(t) \times \varphi_0(t), \\ w_{0100}(t) &= w_4(t) = \varphi_2(t), \\ w_{0101}(t) &= w_5(t) = \varphi_2(t) \times \varphi_0(t), \\ w_{0110}(t) &= w_6(t) = \varphi_2(t) \times \varphi_1(t), \\ w_{0111}(t) &= w_7(t) = \varphi_2(t) \times \varphi_1(t) \times \varphi_0(t), \\ w_{1000}(t) &= w_8(t) = \varphi_3(t), \\ w_{1001}(t) &= w_9(t) = \varphi_3(t) \times \varphi_0(t), \\ w_{1010}(t) &= w_{10}(t) = \varphi_3(t) \times \varphi_1(t), \\ w_{1011}(t) &= w_{11}(t) = \varphi_3(t) \times \varphi_1(t) \times \varphi_0(t), \\ w_{1100}(t) &= w_{12}(t) = \varphi_3(t) \times \varphi_2(t), \\ w_{1101}(t) &= w_{13}(t) = \varphi_3(t) \times \varphi_2(t) \times \varphi_0(t), \\ w_{1110}(t) &= w_{14}(t) = \varphi_3(t) \times \varphi_2(t) \times \varphi_1(t), \\ w_{1111}(t) &= w_{15}(t) = \varphi_3(t) \times \varphi_2(t) \times \varphi_1(t) \times \varphi_0(t). \end{aligned}$$

Формирователь сигналов Уолша состоит из блоков первого типа, выполняющих формирование сигналов Уолша, — W1, W2, W4, W8 (рис. 4а), и из блоков второго типа, выпол-

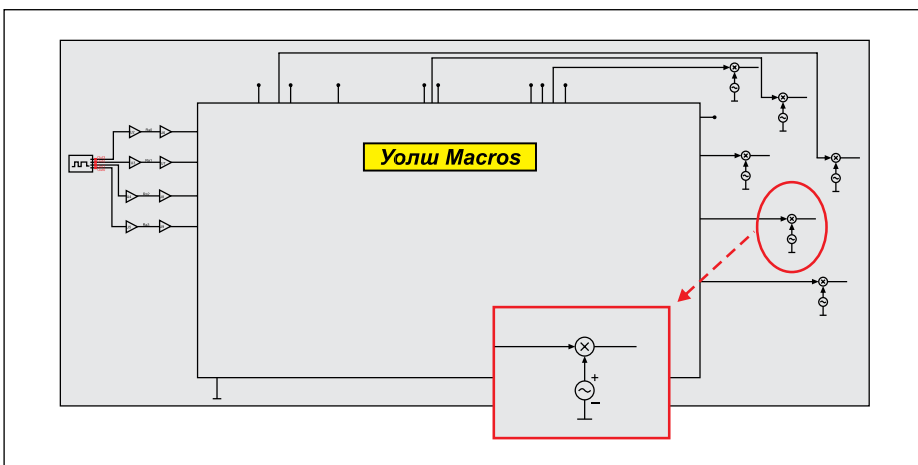


Рис. 6. Модель цифрового блока, блока «Уолш Macros» и блоков формирования сигналов, фазоманипулированных по сигналам Уолша

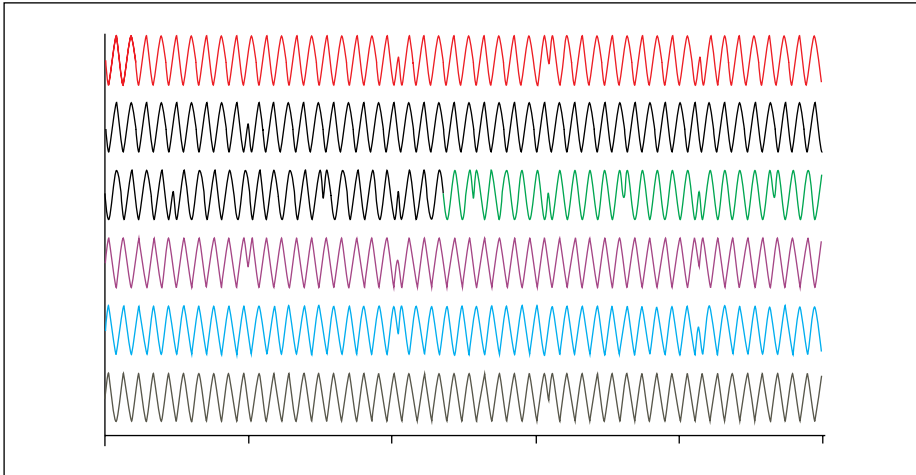


Рис. 7. Осциллограммы шести фазоманипулированных сигналов

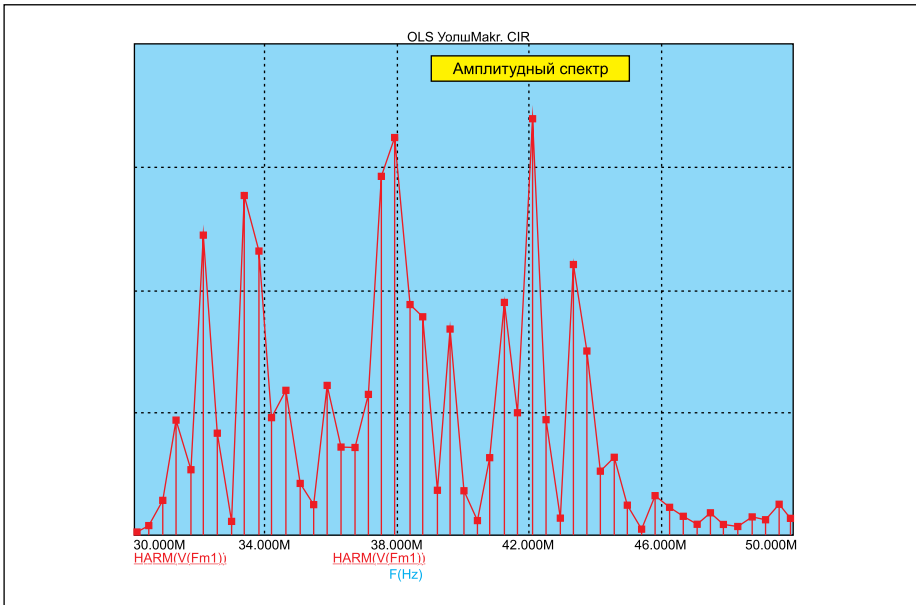


Рис. 8. Амплитудный спектр сигнала, фазоманипулированного по Уолшу

няющих формирование сигналов Уолша, — W3, W5, W6, W7, W9–W15 (рис. 4б).

На рис. 5 приведены осциллограммы 15 сигналов Уолша W1–W15. Красным цветом выделена осциллограмма сигнала W8. Осциллограмма сигнала W0 представляет

собой постоянное напряжение +1 В и здесь не приводится.

Фазовая манипуляция формируется на частоте примерно 39 МГц. Для этого в схеме (рис. 6) используются несколько блоков (один из них выделен эллипсом), состоящих

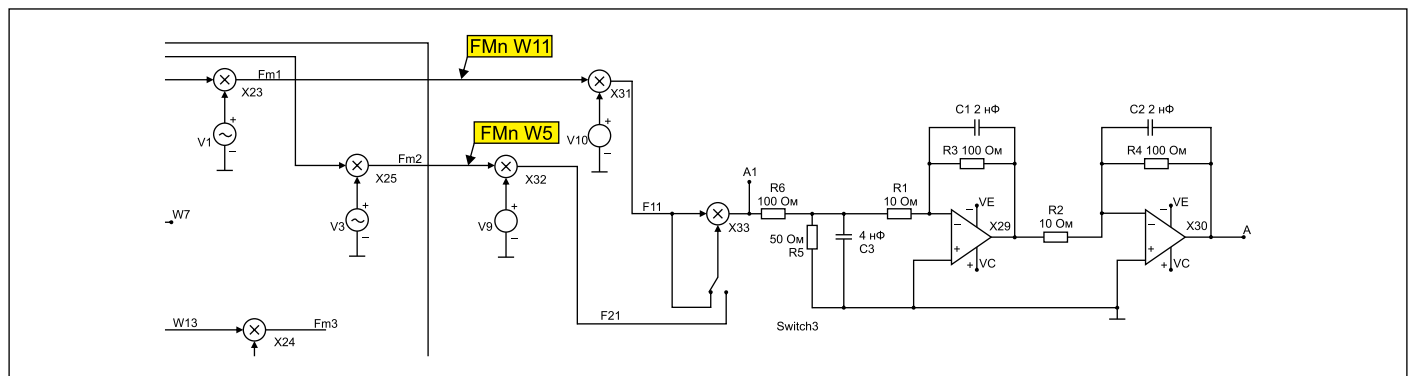


Рис. 9. Схема блока оценки корреляционных функций

из генератора синусоидальных колебаний и умножителя (выделен прямоугольником в увеличении).

На рис. 7 представлены фрагменты осциллограмм шести сигналов, фазоманипулированных по закону одной из 15 функций Уолша.

На рис. 8 приведен амплитудный спектр сигнала, фазоманипулированного по закону W11 функции Уолша. Как видно, спектр содержит множество гармоник, занимает полосу частот от примерно 30 до 46 МГц и сходен со спектром шумового сигнала.

Блок (КОРР) представляет собой модель оптимального приемника сигнала, который для сигнала с известными параметрами вычисляет корреляционный интеграл.

Корреляционная обработка сложных сигналов позволяет добиться энергетического выигрыша при приеме, величина которого определяется базой сигнала. Схема блока оценки корреляционных функций (КОРР) приведена на рис. 9.

На входы умножителя (X33) подается один фазоманипулированный сигнал по закону функции Уолша (при оценке автокорреляционной функции) (рис. 10а) или различные фазоманипулированные сигналы по Уолшу (при оценке функции взаимной корреляции) (рис. 10б). Выход умножителя (Umn) соединен с входом фильтра нижних частот, выход которого, в свою очередь, соединен с последовательно включенными двумя аperiodическими операционными усилителями.

На рис. 10 две верхние осциллограммы — это фазоманипулированные сигналы на входах умножителя (X33), а третьи сверху осциллограммы отображают сигналы на выходе умножителя (X33). Нижние осциллограммы красного цвета представляют колебания на выходе блока (КОРР). Эти колебания в одинаковом масштабе отображают функцию автокорреляции и функцию взаимной корреляции.

Как видно на рис. 10, максимальное значение функции автокорреляции сигналов, фазоманипулированных по закону функции Уолша, равно примерно 5,3 В, что больше чем на порядок превышает пиковые значения (около 0,22–0,4 В) функции взаимной корреляции.

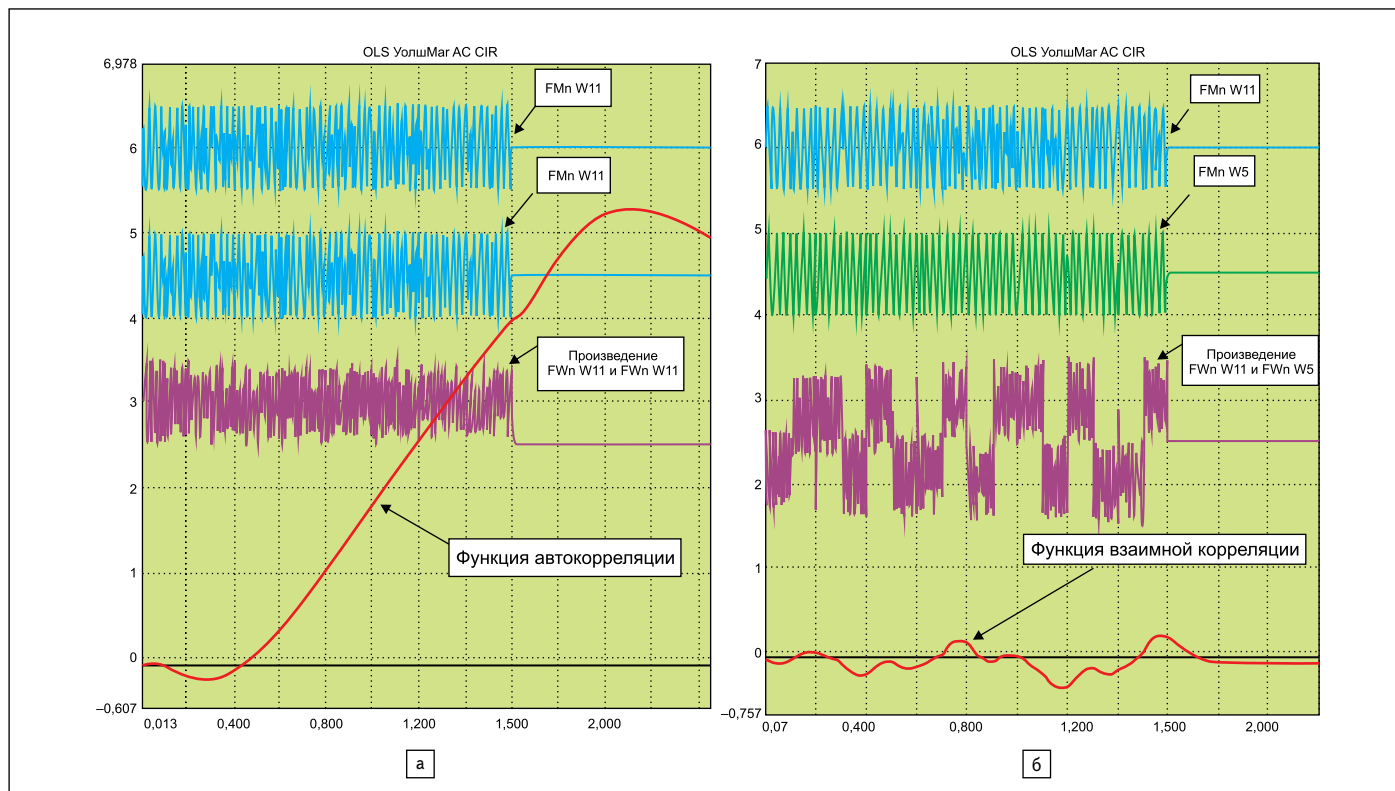


Рис. 10. Осциллограммы на входах и выходах блоков: а) автокорреляционной функции; б) функции взаимной корреляции фазоманипулированных сигналов по Уолшу

Разработанная модель дает возможность проводить широкий круг исследований как сигналов Уолша, так и сигналов, фазоманипулированных по закону функции Уолша.

Сегодня на базе цифровых систем разрабатываются и уже находят широкое применение сотовые системы связи третьего поколения, использующие широкополосные сигналы с кодовым разделением каналов. Поэтому

данная модель актуальна для разработчиков соответствующей аппаратуры и студентов радиотехнических специальностей.

### Литература

1. Никитин Г. И. Применение функций Уолша в сотовых системах связи с кодовым разделением каналов: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУАП, 2003.

2. А. с. № 1483444. Устройство для моделирования функций с помощью частных сумм сигналов Уолша. Соколов О. Л. Опубл. 30.05.89. Бюл. № 20.
3. А. с. № 1741121. Устройство для моделирования функций с помощью частных сумм сигналов Уолша. Соколов О. Л. Опубл. 15.06.90. Бюл. № 22.
4. Амелина М. А. Компьютерный анализ и синтез электронных устройств. Ч. 1: конспект лекций. Смоленск: МЭИ (ТУ), 2005.