

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ В Г. ТАГАНРОГЕ**



КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Руководство к циклу лабораторных работ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ  
ВИДЕО- И РАДИОСИГНАЛОВ**

Для студентов специальностей 210304 Радиозлектронные системы  
и 210402 Средства связи с подвижными объектами  
всех форм обучения

**Р Т Ф**

Таганрог 2012

**Дятлов А. П., Дятлов П. А.** Руководство к циклу лабораторных работ «Моделирование формирователей видео- и радиосигналов». — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. — 40 с.

В руководстве рассматриваются принципы моделирования формирователей видео- и радиосигналов на основе использования системы схемотехнического моделирования «SystemVue–2006». Исследуются временные, спектральные и корреляционные характеристики сигналов. Предназначается студентам специальностей 210304 «Радиоэлектронные системы» и 210402 «Средства связи с подвижными объектами» очной, заочной и дистанционной форм обучения.

Табл. 6. Ил. 8. Библиогр.: 5 назв.

Рецензент В. А. Алёхин, канд. техн. наук, доцент кафедры РТС ТТИ ЮФУ.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Бурный прогресс науки и техники вызывает у широких слоев населения потребность в непрерывном повышении образовательного уровня, что делает актуальным развитие не только традиционных (контактных), но и дистанционных форм обучения.

В процессе дистанционного обучения для развития комплексного восприятия полученных знаний, навыков, умений и обеспечения индивидуализации перерабатываемого материала особую актуальность приобретают электронные междисциплинарные методические разработки, на основе которых возможно проведение лекционных и практических занятий, лабораторных и контрольных работ, а также курсового проектирования.

Данное руководство предназначено для изучения методов моделирования типовых радиозвеньев и основано на использовании следующих междисциплинарных связей: 1) для специальности 210304 между такими курсами, как «Радиотехнические цепи и сигналы», «Радиолокационные и радионавигационные системы», «Прикладная информатика», «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоустройств и радиосистем», «Технико-экономическое проектирование РТС»; 2) для специальности 210402 между такими курсами, как «Теория электрической связи», «Основы теории систем связи с подвижными объектами», «Прикладная информатика», «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств», «Системы и сети связи с подвижными объектами», «Технико-экономическое проектирование средств связи».

В настоящее время имеется целый ряд учебных пособий [1—3], посвященных моделированию устройств. Однако указанные пособия предназначены в основном для контактного вида обучения. Главной проблемой при дистанционном обучении является процесс контроля и тестирования обучаемого студента преподавателем, а также выполнение лабораторного практикума.

Для решения указанной проблемы дистанционного обучения предлагается электронная методическая разработка, состоящая из краткого теоретического базиса и методических указаний к лабораторным работам. Для моделирования формирователей видео- и радиосигналов в процессе выполнения лабораторных работ предлагается использовать демонстрационные версии системы схемотехнического моделирования «SystemVue–2006» [4, 5], ориентированные на IBM PC-совместимые персональные компьютеры.

Данное руководство обеспечивает процесс самостоятельного, но при этом управляемого и контролируемого усвоения студентами определенного объема знаний и умений по наиболее важным разделам базовых дисциплин. Возможность дистанционного проведения практических занятий и лабораторных работ сокращает сроки и стоимость обучения по сравнению с «кейсовой» технологией, что позволяет рекомендовать использование указаний не только для студентов дневной и заочной форм обучения, но и для специалистов, повышающих квалификацию в центрах переподготовки кадров.

## **1. СОДЕРЖАНИЕ ЦИКЛА РАБОТ**

1. Ознакомление с программой «SystemVue–2006».
2. Моделирование формирователей видеосигналов.
3. Моделирование формирователей аналоговых радиосигналов.
4. Моделирование формирователей цифровых радиосигналов.

## **2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

2.1. В настоящее время наибольшее распространение получили цифровые методы передачи информации, поскольку они обладают следующими достоинствами по сравнению с аналоговыми методами [1]:

1) потенциальной возможностью получения малых вероятностей ошибок передачи и достижения высокой достоверности воспроизведения переданных сообщений путём обнаружения и исправления ошибок;

2) инвариантностью цифровых каналов к эффекту накопления искажений при ретрансляциях, обычно представляющему серьёзную проблему в аналоговых системах связи;

3) простотой и эффективностью объединения многих независимых сигналов в цифровые потоки в многоканальных системах связи;

4) возможностью обеспечения конфиденциальности передаваемых сообщений;

5) гибкостью реализации цифровой аппаратуры на основе использования многообразной унифицированной элементной базы;

6) высоким уровнем эксплуатационных характеристик, например, таких, как надёжность, готовность, энергопотребление, весогабаритные параметры и т. п.

При аналоговой передаче сообщений полезный сигнал является непрерывным (континуальным) и может принимать любое значение в некоторых заданных пределах.

При цифровой передаче сообщений полезный сигнал в канале связи является дискретным, т. е. принимает конечное множество значений.

2.2. В аналоговых средствах радиосвязи (СРС) используются непрерывные сигналы с АМ, ЧМ и ФМ, а в цифровых СРС применяются дискретные сигналы, в которых используется манипуляция по амплитуде (АМн), частоте (ЧМн), фазе (ФМн) и комбинации параметров, например по амплитуде и фазе (АФМн) [2].

Дискретные связные сигналы (СС) реализуются с двух- или многопозиционной манипуляцией и могут иметь как периодический, так и аperiodический характер. Примерами периодических дискретных СС являются сигналы, используемые в каналах управления СРС для обеспечения синхронизации или вызова. Аperiodические дискретные СС используются в информационных каналах СРС при передаче разнообразных неповторяющихся сообщений.

По характеру спектрального распределения СС подразделяются на узкополосные (простые) и широкополосные (сложные). В простых СС база примерно

равняется единице ( $B \approx 1$ ), а в сложных СС база намного больше единицы ( $B \gg 1$ ).

Примерами узкополосных СС являются гармонические сигналы, непрерывные одночастотные сигналы с АМ, сигналы с ЧМ при индексе модуляции  $\beta \rightarrow 1$ , а также одночастотные дискретные сигналы с АМн и ФМн при использовании апериодической двоичной последовательности.

Примером когерентных широкополосных СС являются одночастотные дискретные сигналы с ФМн (ФМС) при использовании манипулирующих функций в виде периодических кодовых последовательностей, а примером некогерентных широкополосных СС являются многочастотные дискретные ЧМ-сигналы с использованием в качестве элементов простых импульсных сигналов или псевдослучайных последовательностей.

Помехоустойчивость СРС существенно зависит от уровня априорной информации, имеющейся при приёме СС. По этому классификационному признаку СС можно подразделить на *детерминированные* (полностью известные), *квазидетерминированные* (с неизвестными параметрами), *стохастические* (с неизвестным законом формирования).

2.3. При анализе функционирования СРС используют временное, спектральное, корреляционное и статистическое описания СС.

Временное описание физических (действительных) сигналов  $S(t)$  может быть представлено следующим соотношением:

$$S(t) = A(t) \cos \Psi(t) = A(t) \cos [\omega_0 t + \theta(t) + \varphi_0],$$

где  $A(t)$  — огибающая сигнала;  $\Psi(t)$  — полная фаза;  $\omega_0$  — частота несущей;  $\theta(t)$  — составляющая фазы, изменяющаяся во времени;  $\varphi_0$  — начальная фаза сигнала.

С целью устранения неопределённости при выборе сомножителей  $A(t)$  и  $\Psi(t)$  каждому действительному сигналу  $S(t)$  ставят в соответствие комплексный аналитический сигнал

$$\dot{S}(t) = S(t) + jS_1(t),$$

где  $S_1(t)$  — функция, сопряжённая с сигналом  $S(t)$ .

При переходе к показательной форме имеем

$$A(t) = \sqrt{S^2(t) + S_1^2(t)};$$

$$\Psi(t) = \operatorname{arctg} \frac{S_1(t)}{S(t)};$$

$$\dot{S}(t) = A(t)e^{j\Psi(t)} = A(t)e^{j[\omega_0 t + \theta(t) + \phi_0]} = \dot{A}(t)e^{j\omega_0 t};$$

$$\dot{A}(t) = A(t)e^{j[\theta(t) + \phi_0]},$$

где  $\dot{A}(t)$  — комплексная огибающая сигнала  $\dot{S}(t)$ .

Это комплексное представление особенно удобно для описания узкополосных сигналов, спектр которых группируется около несущей частоты  $\omega_0 \gg 2\pi F$ , где  $F$  — полоса частот, в пределах которой сосредоточен спектр сигнала.

Реальные СС бывают детерминированными и стохастическими, и для них справедливы следующие ограничения:

- 1) значений сигнала —  $|S(t)| < \infty$ ;
- 2) мощности и энергии сигнала, т. е.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T |S(t)|^2 dt < \infty \text{ и } E = \int_0^T |S(t)|^2 dt < \infty;$$

- 3) эффективной временной протяжённости сигнала

$$T_c = \sqrt{\frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} t^2 |S(t)|^2 dt} < \infty;$$

- 4) эффективной ширины спектра

$$F = \sqrt{\frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |\dot{S}(j\omega)|^2 d\omega} < \infty,$$

где  $|\dot{S}(j\omega)|$  — амплитудный спектр сигнала.

Для спектрального описания сигналов  $S(t)$  используют такие термины, как комплексный, амплитудный, фазовый, текущий, мгновенный и энергетический спектры.

Для непериодических детерминированных аналитических сигналов  $\dot{S}(t)$  связь между временными и спектральными представлениями устанавливается на основе прямого преобразования Фурье следующим образом:

$$\dot{S}(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(t)e^{-j\omega t} dt; \quad \dot{S}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(j\omega)e^{j\omega t} d\omega;$$

$$\dot{S}(j\omega) = |\dot{S}(j\omega)| e^{j\theta(\omega)} = \text{Re } \dot{S}(j\omega) + j \text{Im } \dot{S}(j\omega);$$

$$|\dot{S}(j\omega)| = \sqrt{[\text{Re } \dot{S}(j\omega)]^2 + [\text{Im } \dot{S}(j\omega)]^2}; \quad \text{Re } \dot{S}(j\omega) = S(j\omega);$$

$$\theta(\omega) = \arg \dot{S}(j\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im } \dot{S}(j\omega)}{\text{Re } \dot{S}(j\omega)},$$

где  $\dot{S}(j\omega)$  — комплексный спектр;  $\text{Re } \dot{S}(j\omega)$ ,  $\text{Im } \dot{S}(j\omega)$  — реальная и мнимая части комплексного спектра сигнала;  $|\dot{S}(j\omega)|$  — амплитудный спектр (модуль комплексного спектра);  $\theta(\omega)$  — фазовый спектр (аргумент комплексного спектра);  $S(j\omega)$  — спектр действительного сигнала  $S(t)$ .

Если воспользоваться действительной (тригонометрической) формой обратного преобразования Фурье, то при чётном характере функций  $|\dot{S}(j\omega)|$  имеем

$$\dot{S}(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |\dot{S}(j\omega)| \cos[\omega t + \theta(\omega)] d\omega.$$

Спектр аналитического сигнала  $\dot{S}(j\omega)$  содержит спектральные составляющие только с положительными частотами и связан со спектром действительного сигнала  $S(j\omega)$  следующими соотношениями:

$$\dot{S}(j\omega) = \begin{cases} 2S(j\omega) & \text{и́дè } \omega > 0, \\ 0 & \text{и́дè } \omega < 0. \end{cases}$$

С учётом этих соотношений интеграл Фурье имеет следующий вид:

$$\dot{S}(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \dot{S}(j\omega)e^{j\omega t} d\omega.$$

Комплексный спектр  $\dot{S}(j\omega)$  представляет собой функционал всего закончившегося процесса, а при аппаратурных исследованиях приходится иметь дело



с неоконченными на момент измерений процессами. С целью устранения данного несоответствия вводятся понятия текущего спектра  $\dot{S}_0(j\omega)$  и мгновенного спектра  $\dot{S}_1(j\omega)$ , которые определяются следующим образом:

$$\dot{S}_0(j\omega) = \int_{-\infty}^t \dot{S}(t) e^{-j\omega t} dt; \quad \dot{S}_1(j\omega) = \int_t^{t+T_n} \dot{S}(t) e^{-j\omega t} dt,$$

где  $T_c$  — длительность сеанса наблюдения.

При стохастическом характере исследуемых сигналов преобразование Фурье непригодно для анализа спектров в связи с их непредсказуемым изменением во времени. При использовании стационарных случайных сигналов учитывается, что их статистические моменты (математическое ожидание и дисперсия) не изменяются во времени. При этом для спектрального описания таких сигналов можно использовать энергетическую спектральную плотность (спектральную плотность мощности)

$$F(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|\overline{\dot{S}_0(j\omega)}|^2}{2T},$$

где  $|\overline{\dot{S}_0(j\omega)}|^2$  — математическое ожидание квадрата амплитудного спектра реализации случайного сеанса длительностью  $2T$ .

Спектральную плотность  $F(\omega)$  называют двухсторонним (математическим) энергетическим спектром. При переходе к одностороннему (физическому) спектру  $G(\omega)$  необходимо иметь в виду, что

$$G(\omega) = \frac{1}{2\pi} G(f); \quad G(\omega) = \begin{cases} 2F(\omega) & \text{и} \text{д} \text{е} \quad \omega > 0, \\ 0 & \text{и} \text{д} \text{е} \quad \omega < 0. \end{cases}$$

Степень статистической зависимости значений сигнала в различные моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  характеризуется автокорреляционной функцией сигнала  $R(t_1, t_2) = R(\tau)$ ,  $\tau = t_2 - t_1$ , где  $\tau$  — временной сдвиг.

Для стационарных случайных эргодических сигналов можно использовать усреднение по множеству реализаций или по времени

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 p(x_1, x_2) dx_1 dx_2,$$

где  $x_1, x_2$  — значения сигнала  $S(t)$ , образуемые в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ ;  $p(x_1, x_2)$  — плотность вероятности появления значения  $x_1$  в момент времени  $t_1$  и значения  $x_2$  в момент времени  $t_2$ .

В практике широкое распространение получил алгоритм оценивания автокорреляционной функции сигналов с использованием временного усреднения, который называется в литературе мультипликативным алгоритмом.

Энергетический спектр стационарного случайного сигнала связан с автокорреляционной функцией этого процесса преобразованием Фурье (теорема Винера–Хинчина) следующим образом:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau; R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega.$$

При переходе от комплексной формы к тригонометрической и от двухстороннего энергетического спектра к одностороннему имеем

$$G(\omega) = 4 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau; R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} G(\omega) \cos \omega\tau d\omega.$$

Для обеспечения анализа прохождения аддитивной смеси сигнала и шума через функциональные узлы в СРС целесообразно использовать односторонний энергетический спектр.

2.4. Из дискретных СС наибольшее распространение получили ФМС, что объясняется простотой формирования и обработки таких сигналов, обеспечения большой базы, высокой стабильности когерентной несущей частоты, а также возможностью быстрой перестройки параметров передающего и приемного оборудования.

ФМС в зависимости от особенностей манипулирующих последовательностей (МП) делятся на аperiodические  $S_a(t)$  и периодические  $S_n(t)$ :

$$S_a(t) = \sum_{i=1}^N U_m \text{rect}[t - t_i] \cos(\omega_c t + \varphi_n + \theta_i) \quad \text{при } 0 \leq t \leq NT_3;$$

$$i \in [1, N]; \quad NT_3 = T_k; \quad N = B_1; \quad \text{rect}[t - t_i] = \begin{cases} 1 & \text{ïðè } (i-1)T_y \leq t_i \leq iT_y, \\ 0 & \text{ïðè } (i-1)T_y > t_i > iT_y; \end{cases}$$

$$\theta_i = a_i \Delta \varphi_i; \quad a_i \in [-1, 1];$$

$$S_{\Pi}(t) = \sum_{\hat{e}=1}^M \sum_{i=1}^N U_m \operatorname{rect}[t - t_{i\hat{e}}] \cos(\omega_c t + \varphi_{\hat{n}} + \theta_{i\hat{e}}) \quad \text{при } 0 \leq t \leq MNT_3;$$

$$\kappa \in [1, M]; \quad MNT_3 = MT_{\kappa} = T_6; \quad MN = B_2;$$

$$\operatorname{rect}[t - t_{i\hat{e}}] = \begin{cases} 1 & \text{ïðè } (i-1)T_{\hat{y}} + (\hat{e}-1)T_{\hat{e}} \leq t_{i\hat{e}} \leq iT_{\hat{y}} + (\hat{e}-1)T_{\hat{e}}, \\ 0 & \text{ïðè } (i-1)T_{\hat{y}} + (\hat{e}-1)T_{\hat{e}} > t_{i\hat{e}} > iT_{\hat{y}} + (\hat{e}-1)T_{\hat{e}}; \end{cases}$$

$$\theta_{i\kappa} = a_{i\kappa} \Delta \varphi_{i\kappa}; \quad a_{i\kappa} \in [-1, 1],$$

где  $U_m$ ,  $\omega_c$ ,  $\varphi_c$  — соответственно амплитуда, частота и начальная фаза ФМС;  $T_3$ ,  $T_{\kappa}$ ,  $T_6$  — соответственно длительности элемента, кодового интервала и бита;  $\operatorname{rect}[x]$  — временное окно;  $N$  — количество элементов в кодовом интервале, соответствующее базе  $B_1$  аperiодического ФМС;  $B_2$  — база периодического ФМС;  $M$  — количество кодовых интервалов в бите;  $\theta_i$  — значение угла манипуляции для  $i$ -го дискрета;  $a_i$  —  $i$ -й коэффициент;  $\Delta \varphi_i$  — величина фазового скачка на  $i$ -м дискрете;  $\theta_{i\kappa}$  — значение угла манипуляции для  $i\kappa$ -го дискрета;  $a_{i\kappa}$  —  $i\kappa$ -й коэффициент;  $\Delta \varphi_{i\kappa}$  — величина фазового скачка  $i\kappa$ -го дискрета.

Манипулирующие последовательности для аperiодического ФМС обозначаются  $\Pi_a(t)$ , а для периодического ФМС —  $\Pi_{\Pi}(t)$  и описываются соотношениями следующего вида:

$$\Pi_a(t - t_i) = \sum_{i=1}^N a_i \operatorname{rect}[t - t_i];$$

$$\Pi_{\Pi}(t - t_{i\kappa}) = \sum_{\hat{e}=1}^M \sum_{i=1}^N a_{i\hat{e}} \operatorname{rect}[t - t_{i\hat{e}}].$$

Выражения для многопозиционных ФМС можно преобразовать к следующему виду:

$$S_a(t) = U_m [\cos \Delta \varphi_i \cos(\omega_c t + \varphi_c) - \Pi_a(t - t_i) \sin \Delta \varphi_i \sin(\omega_c t + \varphi_c)] \quad \text{при } 0 \leq t \leq T_{\kappa};$$

$$S_{\Pi}(t) = U_m [\cos \Delta \varphi_{i\kappa} \cos(\omega_c t + \varphi_c) - \Pi_{\Pi}(t - t_{i\kappa}) \sin \Delta \varphi_{i\kappa} \sin(\omega_c t + \varphi_c)] \quad \text{при } 0 \leq t \leq T_6.$$

Для случая двухпозиционного (бинарного) ФМС, когда  $\Delta \varphi_i = \Delta \varphi_{i\kappa} = \pi/2$ , эти выражения принимают вид

$$S_a(t) = U_m \Pi_a(t - t_i) \sin(\omega_c t + \varphi_c) \quad \text{при } 0 \leq t \leq T_{\kappa};$$

$$S_{\Pi}(t) = U_{\Pi} \Pi_{\Pi}(t - t_{ik}) \sin(\omega_c t + \varphi_c) \text{ при } 0 \leq t \leq T_0.$$

В данном цикле лабораторных работ акцент делается на моделировании двухпозиционных ФМС.

Для простых ФМС аperiodическая МП представляет собой псевдослучайную последовательность (ПСП), а периодическая МП — последовательность с меандровым законом изменения.

Для сложных ФМС в качестве аperiodической МП часто используются аperiodические коды Баркера или М-последовательности, а в качестве периодической МП — периодические коды Баркера или М-последовательности.

Соотношения для расчёта временных, спектральных и корреляционных характеристик видео- и радиосигналов различного вида приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

## Временное, спектральное и корреляционное представления видеосигналов

Типы сигналов	Представление сигналов
1. Прямоугольный видеоимпульс $S_{11}(t)$	Временное: $S_{11}(t) = A$ при $t_0 \leq t \leq t_0 + \tau_{\Pi}$
	Спектральное (односторонний энергетический спектр): $G_{11}(f) = 2A^2 \tau_{\Pi} \text{sinc}^2(\pi f \tau_{\Pi})$ .
	Автокорреляционная функция: $R_{11}(\tau) = A^2 (1 -  \tau /\tau_{\Pi})$ при $\tau \leq \tau_{\Pi}$ ; $R_{11}(\tau) = 0$ при $\tau > \tau_{\Pi}$
2. Периодическая пачка прямоугольных видеоимпульсов $S_{12}(t)$	Временное: $S_{12}(t) = A \sum_{i=1}^N \text{rect}(t - t_i); i \in [1, N];$ $\text{rect}(t - t_i) = \begin{cases} 1 & \text{и} \ddot{\text{д}} \ddot{\text{е}} \ t_0 + (i-1)T_i \leq t_i \leq t_0 + (i-1)T_i + \tau_{\text{с}}; \\ 0 & \text{и} \ddot{\text{д}} \ddot{\text{е}} \ \text{д} \ddot{\text{о}} \text{б} \ddot{\text{а}} \ddot{\text{е}} \ddot{\text{д}} \ t_i \end{cases}$
	Спектральное (односторонний энергетический спектр): $G_{12}(f) = \frac{A^2 \tau_{\text{с}}^2}{\dot{O}_i^2} \delta(f) + \frac{2}{\pi^2} A^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin^2(n\pi \frac{\tau_{\text{с}}}{T_i}) \delta(f - n/\dot{O}_i)$
	Автокорреляционная функция: $R_{12}(\tau) = A^2 \sum_{i=1}^N \left[ 1 - \frac{ \tau - (i-1)T_i }{\tau_{\text{с}}} \right] \left[ 1 - \frac{(i-1)}{N} \right]$ при $(i-1)T_{\Pi} - \tau_{\Pi} \leq \tau \leq (i-1)T_{\Pi} + \tau_{\Pi}$

Типы сигналов	Представление сигналов
3. Видеосигнал с меандровым законом изменения $S_{13}(t)$	<p>Временное:</p> $S_{13}(t) = A \operatorname{sign} \left[ \sin \left( \frac{2\pi t}{T_i} \right) \right]; T_{\Pi} = 2\tau_{\Pi} \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + kT_{\Pi};$ $k \in [1, N]; \operatorname{sign} \left[ \sin \left( \frac{2\pi t}{T_i} \right) \right] = \begin{cases} -1 \text{ и} \grave{\text{д}} \text{е } \sin(2\pi t / T_i) < 0, \\ 0 \text{ и} \grave{\text{д}} \text{е } \sin(2\pi t / T_i) = 0, \\ +1 \text{ и} \grave{\text{д}} \text{е } \sin(2\pi t / T_i) > 0 \end{cases}$
	<p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> $G_{13}(f) = \frac{4A^2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \delta \left[ f - \frac{(2n-1)}{T_i} \right]$
	<p>Автокорреляционная функция:</p> $R_{13}(\tau) = \frac{A^2}{2} \sum_{k=1}^N \left( 1 - \frac{ \tau - (k-1)\tau_{\text{е}} }{\tau_{\text{е}}} \right) \left( 1 - \frac{(k-1)}{N} \right) (-1)^{(k-1)}$ <p>при <math>(k-1)\tau_{\text{и}} - \tau_{\text{и}}/2 \leq \tau \leq (k-1)\tau_{\text{и}} + \tau_{\text{и}}/2</math></p>
4. Видеосигнал в виде 13-разрядной кодовой последовательности Баркера $S_{14}(t)$	<p>Временное:</p> $S_{14}(t) = \begin{cases} A \sum_{j_1}^9 \operatorname{rect}[t - (j_1 - 1)\tau_{\text{е}}] \text{ и} \grave{\text{д}} \text{е } j_1 \in [1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 13]; \\ -A \sum_{j_2}^4 \operatorname{rect}[t - (j_2 - 1)\tau_{\text{е}}] \text{ и} \grave{\text{д}} \text{е } j_2 \in [6, 7, 10, 12]; \end{cases}$ <p><math>t_0 \leq t \leq t_0 + N\tau_{\text{и}}; N = 13</math></p>
	<p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> $G_{14}(f) = 2 A^2 \tau_{\text{и}} \operatorname{sinc}^2(\pi f \tau_{\text{и}})$
	<p>Автокорреляционная функция:</p> $R_{14}(\tau) = \frac{A^2}{2} (1 -  \tau /\tau_{\text{и}}) \text{ при } \tau \leq \tau_{\text{и}};$ <p><math>R_{14}(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau &gt; \tau_{\text{и}}</math></p>
5. Двоичный код в виде заданной ПСП $S_{15}(t)$	<p>Временное:</p> $S_{15}(t) = A \sum_{i=1}^N \ddot{\text{I}}(t - t_i) \operatorname{rect}(t - t_i) \text{ при } \Pi(t - t_i) \in [-1; 1];$ $\operatorname{rect}(t - t_i) = \begin{cases} 1 \text{ и} \grave{\text{д}} \text{е } t_0 + (i-1)\tau_{\text{е}} \leq t_i \leq t_0 + i\tau_{\text{е}}; \\ 0 \text{ и} \grave{\text{д}} \text{е } \grave{\text{а}} \text{д} \text{б} \text{а} \text{е} \text{д} \tau_i \end{cases}$
	<p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> $G_{15}(f) = 2 A^2 \tau_{\text{и}} \operatorname{sinc}^2(\pi f \tau_{\text{и}})$
	<p>Автокорреляционная функция:</p> $R_{15}(\tau) = (A^2/2) (1 -  \tau /\tau_{\text{и}}) \text{ при } \tau \leq \tau_{\text{и}}; \quad R_{15}(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau > \tau_{\text{и}}$

Временное, спектральное и корреляционное представления  
дискретных двоичных радиосигналов

Типы сигналов	Представление сигналов
<p>1. Амплитудно-манипулированный (АМн) <math>S_{21}(t)</math></p>	<p>Временное:</p> $S_{21}(t) = \sum_{i=1}^N U_m \dot{\Pi}_{\Lambda}(t-t_i) \cos(\omega_c t + \varphi_c) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + NT_3; \omega_c = 2\pi f_c;$ <p style="text-align: center;">а) меандр <span style="float: right;">б) ПСП</span></p> $\Pi_{\Lambda 1}(t-t_i) = \frac{\text{sign}\left(\sin\left(\frac{\pi(t-t_i)}{T_y}\right)\right) + 1}{2}; \quad \Pi_{\Lambda 2}(t-t_i) \in [0, 1]$ <p>при <math>t_0 + (i-1)T_3 \leq t_i \leq t_0 + iT_3; i \in [1, N]</math></p> <p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> <p style="text-align: center;">а) меандр</p> $G_{21}(f) = \frac{U_m^2}{8} \delta(f - f_c) + \frac{U_m^2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \left[ \delta\left[f - f_n - \frac{(2n-1)}{2T_y}\right] - \delta\left[f - f_n + \frac{(2n-1)}{2T_y}\right] \right];$ <p style="text-align: center;">б) ПСП</p> $G_{21}(f) = \frac{U_m^2 T_y}{4} \text{sinc}^2[\pi(f - f_n)T_y]$ <hr/> <p>Автокорреляционная функция:</p> <p style="text-align: center;">а) меандр</p> $R_{21}(\tau) = \frac{U_m^2}{4} \left[ \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{ \tau - 2(i-1)T_y }{T_y}\right) \left(1 - \frac{(i-1)}{N}\right) \right] \cos(\omega_n \tau)$ <p>при <math>(i-1)T_3 \leq \tau \leq iT_3;</math></p> <p style="text-align: center;">б) ПСП</p> $R_{21}(\tau) = \frac{U_m^2}{4} \left(1 - \frac{ \tau }{T_y}\right) \cos(\omega_n \tau) \text{ при } \tau \leq T_3; R_{21}(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau > T_3$
<p>2. Фазоманипулированный (ФМ-2) <math>S_{22}(t)</math></p>	<p>Временное:</p> $S_{22}(t) = \sum_{i=1}^N U_m \dot{\Pi}_{\varphi}(t-t_i) \cos(\omega_c t + \varphi_c) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + NT_3$ <p style="text-align: center;">а) меандр <span style="float: right;">б) ПСП</span></p> $\Pi_{\varphi 1}(t-t_i) = \text{sign}\left(\sin\left(\frac{\pi(t-t_i)}{T_y}\right)\right); \quad \Pi_{\varphi 2}(t-t_i) \in [-1, 1]$ <p>при <math>t_0 + (i-1)T_3 \leq t_i \leq t_0 + iT_3; i \in [1, N]</math></p>

Типы сигналов	Представление сигналов
	<p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> <p><i>а) меандр</i></p> $G_{22}(f) = \frac{4U_m^2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \left[ \delta \left[ f - f_{\bar{n}} - \frac{(2n-1)}{2T_y} \right] - \delta \left[ f - f_{\bar{n}} + \frac{(2n-1)}{2T_y} \right] \right];$ <p><i>б) ПСП</i></p> $G_{22}(f) = \frac{U_m^2}{2} T_y \operatorname{sinc}^2 [\pi(f - f_{\bar{n}})T_y]$ <hr/> <p>Автокорреляционная функция:</p> <p><i>а) меандр</i></p> $R_{22}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \left( \sum_{i=1}^N \left( 1 - \frac{ \tau - 2(i-1)T_y }{T_y} \right) \left( 1 - \frac{(i-1)}{N} \right) \right) \cos(\omega_{\bar{n}} \tau)$ <p>при <math>(i-1)T_3 \leq \tau \leq iT_3</math>;</p> <p><i>б) ПСП</i></p> $R_{22}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \left( 1 - \frac{ \tau }{T_y} \right) \cos(\omega_{\bar{n}} \tau) \text{ при } \tau \leq T_3; R_{22}(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau > T_3$
3. Частотно-манипулированный (ЧМ-2) $S_{23}(t)$	<p>Временное:</p> $S_{23}(t) = \sum_{i=1}^N U_m \cos \left( \omega_c t + \frac{\Delta\omega_{\delta}}{2} \ddot{I}_f(t-t_i) + \varphi_c \right) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + NT_3; \Delta\omega_p = 2\pi\Delta f_p;$ <p><math>\Delta f_p = (f_2 - f_1); f_c = (f_1 + f_2)/2; \beta = \Delta f_p T_3</math></p> <p><i>а) меандр</i> <span style="float: right;"><i>б) ПСП</i></span></p> $\Pi_{f_1}(t-t_i) = \operatorname{sign} \left( \sin \frac{\pi(t-t_i)}{T_y} \right); \quad \Pi_{f_2}(t-t_i) \in [-1, 1]$ <p>при <math>t_0 + (i-1)T_3 \leq t_i \leq t_0 + iT_3; i \in [1, N]</math></p> <hr/> <p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> <p><i>а) меандр</i></p> $G_{23}(f) = \frac{4U_m^2}{\pi^2} \left\{ \frac{1}{\beta} \sin \left( \frac{\pi\beta}{2} \right) \delta(f-f_{\bar{n}}) + \right.$ $+ \frac{\beta}{\beta^2-1} \cos \left( \frac{\pi\beta}{2} \right) \left[ \delta \left( f - f_{\bar{n}} - \frac{1}{2T_y} \right) - \delta \left( f - f_{\bar{n}} + \frac{1}{2T_y} \right) \right] -$ $- \frac{\beta}{\beta^2-2} \sin \left( \frac{\pi\beta}{2} \right) \left[ \delta \left( f - f_{\bar{n}} - \frac{1}{T_y} \right) - \delta \left( f - f_{\bar{n}} + \frac{1}{T_y} \right) \right] -$ $\left. - \frac{\beta}{\beta^2-3} \sin \left( \frac{\pi\beta}{2} \right) \left[ \delta \left( f - f_{\bar{n}} - \frac{3}{2T_y} \right) - \delta \left( f - f_{\bar{n}} + \frac{3}{2T_y} \right) \right] \right\}$

Типы сигналов	Представление сигналов
	<p style="text-align: center;"><i>б) ПСП</i></p> $G_{23}(f) = \frac{U_m^2}{4} T_y [\text{sinc}^2 \pi(f - f_1) T_y + \text{sinc}^2 \pi(f - f_2) T_y]$ <p>Автокорреляционная функция:</p> <p style="text-align: center;"><i>а) меандр</i></p> $R_{23}(\tau) = \frac{U_m^2}{4} \left[ \sum_{i=1}^N \left( 1 - \frac{ \tau - 2(i-1)T_y }{T_y} \right) \left( 1 - \frac{(i-1)}{N} \right) \cos(\omega_1 \tau) \times \right. \\ \left. \times \sum_{i=1}^N \left( 1 - \frac{ \tau - 2(i-1)T_y - T_y }{T_y} \right) \left( 1 - \frac{i-1}{N} \right) \cos(\omega_2 \tau) \right] \text{ при } (i-1) T_3 \leq \tau \leq iT_3;$ <p style="text-align: center;"><i>б) ПСП</i></p> $R_{23}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \left( 1 - \frac{\tau}{T_y} \right) \cos\left(\frac{\Delta\omega_p \tau}{2}\right) \cos(\omega_c \tau) \text{ при } \tau \leq T_3; R_{23}(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau > T_3$
4. Фазоманипулированный многопозиционный (ФМ- $m$ ) $S_{24}(t)$ ( $m > 2$ )	<p>Временное:</p> $S_{24}(t) = \sum_{i=1}^N \text{rect}(t - t_i) \cos(\omega_c t + \varphi_c + \theta_i) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + NT_3;$ $\text{rect}(t - t_i) = \begin{cases} 1 & \text{и} \text{д} \text{е } (i-1)T_y \leq t_i \leq iT_y; \\ 0 & \text{и} \text{д} \text{е } (i-1)T_y > t_i > iT_y; \end{cases}$ $i \in [1, N]; \theta_i \in [2\pi/m, 2\pi k/m]; k \in [1, m]$ <p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> $G_{24}(f) = \frac{U_m^2 T_y}{2} \log_2(m) \text{sinc}^2 [(\pi(f - f_n) T_y) \log_2(m)]$ <p>Автокорреляционная функция:</p> $R_{24}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \left( 1 - \frac{ \tau }{T_y} \right) \cos(\omega_n \tau) \text{ при } \tau \leq T_3; R_{24}(\tau) \rightarrow 0 \text{ при } \tau > T_3$
5. Частотно-манипулированный с минимальным сдвигом (ММС) $S_{25}(t)$	<p>Временное:</p> $S_{25}(t) = \sum_{i=1}^N U_m \cos\left(\omega_c t + \frac{\pi a_i}{2T_y} + \varphi_i\right) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + NT_3;$ $\beta = \Delta f_p T_3 = 0,5; a_i \in [-1; 1]; \varphi_i = \pi/2 - \sum_{j=1}^{i-1} a_j - (i-1)\pi/2 a_i + \varphi_i$ <p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> $G_{25}(f) = \frac{4U_m^2 T_y (1 + \cos(4\pi(f - f_n) T_y))}{\pi^2 (1 - 16\Delta_y^2 (f - f_n)^2)^2}$



Типы сигналов	Представление сигналов
	<p>Автокорреляционная функция:</p> $R_{25}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \left( \left( 1 - \frac{ \tau }{2T_y} \right) \cos \frac{\pi \tau }{2T_y} + \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi \tau }{2T_y} \right) \cos(\omega_n \tau) \text{ при } \tau \leq T_3;$ <p><math>R_{25}(\tau) \rightarrow 0</math> при <math>\tau &gt; 2T_3</math></p>
5. Фазоманипулированный с периодической манипулирующей функцией (ФМ-ПСП) $S_{26}(t)$	<p>Временное:</p> $S_{26}(t) = \sum_{j=1}^{N_A} S_{22}[t - (j-1)T_{\epsilon}] \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + N_B T_K;$ <p><math>B = N_K N_B</math>; <math>N_B \in [1, T_B/T_K]</math>; <math>N_K \in [1, T_K/T_3]</math></p>
	<p>Спектральное (односторонний энергетический спектр):</p> $G_{26}(f) = \frac{U_m^2 T_y}{2} \text{sinc}^2 [\pi(f - f_n)T_y] \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} \delta \left( f - f_c - \frac{n}{T_{\epsilon}} \right)$
	<p>Автокорреляционная функция:</p> $R_{26}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} \left( 1 - \frac{ \tau - (j-1)T_{\epsilon} }{T_y} \right) \left( 1 - \frac{(j-1)}{N_A} \right) \cos(\omega_n \tau)$ <p>при <math>(j-1)T_K - T_3 \leq \tau \leq (j-1)T_K + T_3</math>; <math>R_{26}(\tau) \rightarrow 0</math> при <math>\tau &gt; T_B</math></p>

**Примечание:**  $A$  — амплитуда видеосигнала;  $\tau_n$  — длительность импульса;  $T_n$  — период повторения сигналов;  $t_0$  — время начала сигнала;  $\Pi(t)$  — манипулирующая функция;  $N$  — количество импульсов в пачке;  $U_m$  — амплитуда радиосигнала;  $f_c$  — частота сигнала;  $\varphi_c$  — начальная фаза сигнала;  $T_3$  — длительность элемента (посылки) сигнала;  $N_K$  — количество элементов сигнала в кодовом интервале;  $N_B$  — количество кодовых интервалов в одном бите;  $t_0$  — время начала сигнала;  $\Pi_A(t)$ ,  $\Pi_f(t)$ ,  $\Pi_{\varphi}(t)$  — манипулирующие функции АМн, ФМ-2, ЧМ-2;  $f_1, f_2$  — частоты посылок ЧМ-2;  $\Delta f$  — разнос частот в ЧМ-2;  $\beta$  — индекс модуляции ЧМ-2;  $B$  — база сигнала  $S_{26}(t)$ .

Временное, спектральное и корреляционное представления  
аналоговых радиосигналов

Типы сигналов	Представление сигналов
1. Гармонический (ГС) $S_{31}(t)$	Временное: $S_{31}(t) = U_m \cos(\omega_c t + \varphi_c) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + T_c$
	Спектральное (односторонний энергетический спектр): $G_{31}(f) = \frac{U_m^2}{2} \delta(f - f_c), f_c = \omega_c/2\pi$
	Автокорреляционная функция: $R_{31}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \left(1 - \frac{ \tau }{T_n}\right) \cos(\omega_n \tau) \text{ при } \tau \leq T_c$
2. Амплитудно-модулированный (АМ) $S_{32}(t)$	Временное: $S_{32}(t) = U_m [1 + m \cos(\Omega t + \varphi_\Omega)] \cos(\omega_c t + \varphi_c) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + T_c$
	Спектральное (односторонний энергетический спектр): $G_{32}(f) = \frac{U_m^2}{2} \delta(f - f_c) + \frac{m^2 U_m^2}{2} [\delta(f - f_c - F) + \delta(f - f_c + F)]; F = \frac{\Omega}{2\pi}$
	Автокорреляционная функция: $R_{32}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} \left(1 + \frac{m^2}{2} \cos(\Omega \tau)\right) \cos(\omega_n \tau) \text{ при } \tau \leq T_c$
3. Частотно-модулированный (ЧМ) $S_{33}(t)$	Временное: $S_{33}(t) = U_m \cos[\omega_c t + \beta \cos(\Omega t + \varphi_\Omega) + \varphi_c] \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + T_c; \beta = \frac{\Delta f_a}{F};$ $\Delta \omega_d = 2\pi \Delta f_d$
	Спектральное (односторонний энергетический спектр): $G_{33}(f) = \frac{4U_m^2}{\pi^2} \left\{ J_0^2(\beta) \delta(f - f_n) + \sum_{m=1}^{\infty} J_m^2(\beta) [\delta(f - f_n - mF) + \delta(f - f_n + mF)] \right\}$
	Автокорреляционная функция: $R_{33}(\tau) = \frac{U_m^2}{2} J_0(\beta \tau) \cos(\omega_n \tau) \text{ при } \tau \leq T_c$

Типы сигналов	Представление сигналов
4. Квазибелый шум (Ш) $S_{34}(t)$	Временное: $S_{34}(t) = U_{mn}(t) \cos [\omega_n t + \varphi_n(t)]$ при $t_0 \leq t \leq t_0 + T_c$ , $\omega_n = 2\pi f_n$
	Спектральное (односторонний энергетический спектр): $G_{34}(f) = N_n$ при $f_n - \Delta f_n/2 \leq f \leq f_n + \Delta f_n/2$ ; $N_n = \sigma_n^2 / \Delta f_n$
	Автокорреляционная функция: $R_{34}(\tau) = \sigma_n^2 \text{sinc}(\pi \Delta f_n \tau) \cos(\omega_n \tau)$ при $\tau \ll T_c$

**Примечание:**  $U_m$  — амплитуда радиосигнала;  $f_c$  — частота сигнала;  $\varphi_c$  — начальная фаза сигнала;  $F$  — модулирующая частота;  $\varphi_\Omega$  — начальная фаза модулирующего напряжения;  $m$  — индекс АМ;  $\beta$  — индекс модуляции ЧМ-2;  $\Delta f_d$  — девиация ЧМ;  $t_0$  — время начала сигнала;  $T_c$  — длительность сигнала;  $U_{mn}(t)$  — закон изменения огибающей Ш;  $\varphi_n(t)$  — закон изменения фазы Ш;  $f_n$  — средняя частота Ш;  $\sigma_n^2$  — дисперсия Ш.

### 3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Ознакомиться с особенностями формирования функциональных схем генераторов видео- и радиосигналов на основе программы «SystemVue–2006» в соответствии с заданиями, сформулированными в лабораторных работах № 1–4.

3.2. В соответствии с заданным вариантом исходных данных произвести расчёты и построить графики временных, спектральных и корреляционных характеристик видео- и радиосигналов.

## 4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

### 4.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

#### «ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ПРОГРАММОЙ SYSTEMVUE–2006»

##### *4.1.1. Общие сведения о программе*

Стандартная конфигурация программы SystemVue–2006 подробно описана в работах [4, 5], на основе которых изложен данный подраздел.

Программа SystemVue предназначена для моделирования различных систем обработки сигналов, систем связи, систем автоматического управления и др. Она представляет собой «конструктор», позволяющий из стандартных кубиков создавать функциональные схемы устройств и выполнять моделирование при воздействии различных сигналов и помех. Возможности SystemVue расширяются за счет создания иерархических структур (макромоделей или метасистем по принятой в SystemVue терминологии), библиотек пользователей, написанных на языке Си и реализуемых в виде DLL-библиотек, и моделей, созданных в математической программе Mat-lab. По завершении моделирования цифрового устройства данные о его структуре могут быть переданы программе синтеза ПЛИС фирмы Xilinx. SystemVue отличается от известной программы Lab-View наличием большого количества специализированных библиотек. Наш выбор в пользу программы SystemVue был сделан по следующим соображениям:

1) это современный пакет, позволяющий моделировать все виды обработки сигналов, которые используются в настоящее время: аналоговые, аналого-цифровые, цифровые;

2) программирование заключается в составлении схемы из готовых модулей, находящихся в основной, дополнительной или созданных пользователем библиотеках. Эта работа требует меньших затрат времени, чем программирование той же задачи в других системах графического программирования или на языках программирования высокого уровня типа Fortran, Си++ и т.п.;

3) в окне просмотра результатов моделирования предоставляется возможность оперативной обработки результатов: построение спектров, различные

операции с графическими данными (сложение, умножение, наложение и много других), определение статистических характеристик результатов моделирования, сравнение с известными аналитическими результатами.

Интерфейс SystemVue состоит из двух основных окон: окна функциональных схем *System* (далее — окно *System*) и окна результатов моделирования *Analysis* (далее — окно *Analysis*). Функциональная схема моделируемого устройства создается в окне *System* (рис. 1), с использованием функциональных блоков (Tokens) из различных библиотек, пиктограммы которых расположены в левой части экрана.

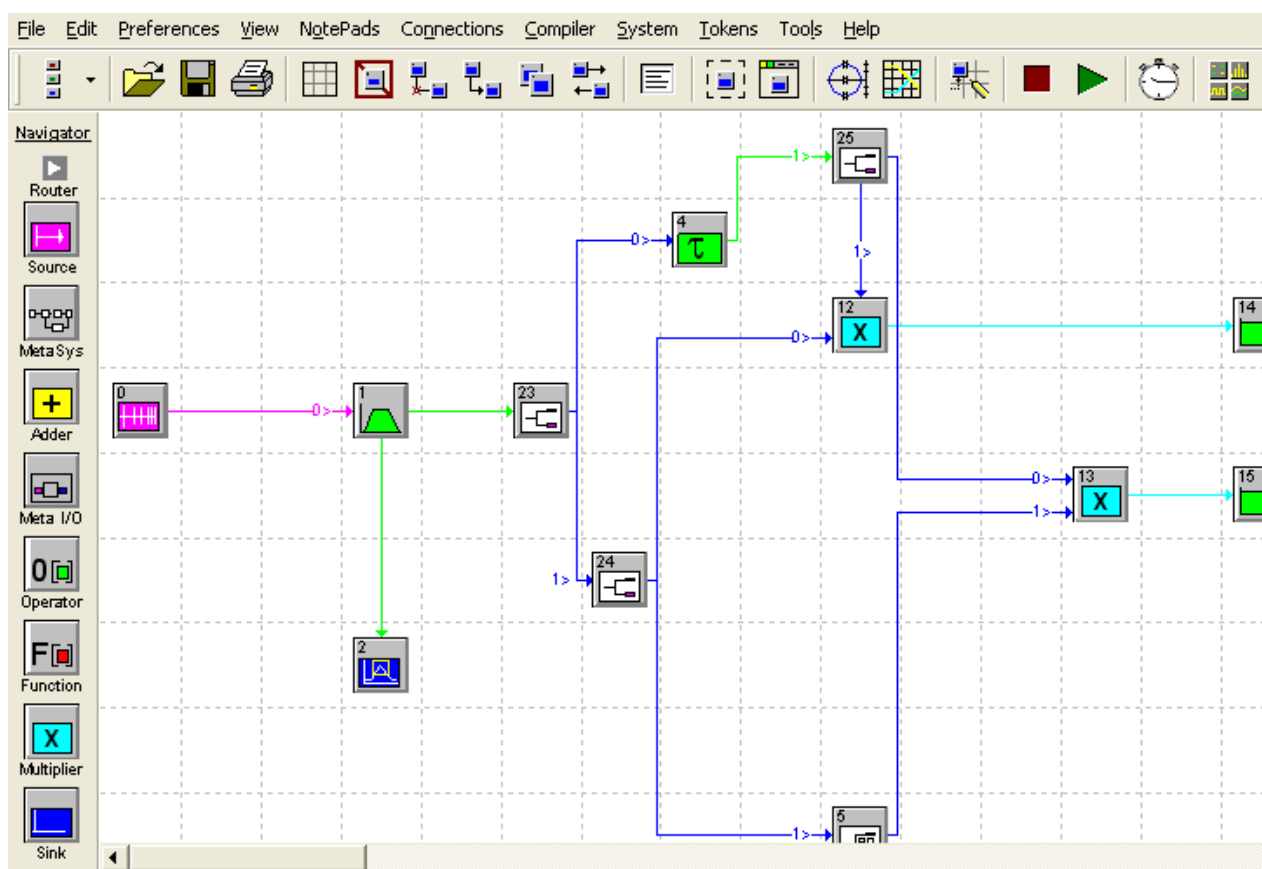



Рис. 1. Окно функциональных схем — *System*

С помощью переключателя Select Library Reservoir , расположенного в верхнем левом крае панели инструментов, осуществляется выбор библиотек: основная библиотека (*Main Libraries*) или дополнительная (*Optional Libraries*).

В основной набор (*Main Libraries*) входят библиотеки: **Source** (источники сигналов), **Operator** (линейные операторы), **Function** (нелинейные функции),

**Sink** (измерители, анализаторы данных), а также **Adder** (сумматор) и **Multiplier** (умножитель).

Состав каталога дополнительных библиотек (*Optional Libraries*) таков: **Custom** (библиотеки пользователей), **Communication** (устройства систем связи — кодеры, декодеры, модуляторы, демодуляторы, модели каналов систем связи), **DSP**<sup>1</sup> (элементы устройств цифровой обработки сигналов), **Logic** (стандартные цифровые устройства), **RF**<sup>2</sup>/**Analog** (элементы трактов аналоговой обработки сигналов), **M-Link** (связь с моделями, созданными в программе *Matlab*).

Для размещения на схеме элемента следует выделить соответствующую библиотеку нажатием левой кнопки мыши, после этого выделенный прямоугольник пиктограммы переместить в окно построения блок-схемы при нажатой левой кнопки мыши (фиксация элемента происходит после отпускания этой кнопки). После двойного щелчка по размещенной на схеме пиктограмме разворачивается диалоговое окно, в котором пользователь выделяет требуемый элемент из библиотеки, и затем задает его параметры.

При щелчке правой кнопкой мыши на функциональном блоке появляется выпадающее меню. Выделение строки *Edit Parameters* открывает диалоговое окно редактирования параметров выбранного блока. Выделение строки *Library* позволяет выбрать другой элемент из той же библиотеки, в которой находится исходный блок. Остальные команды выпадающего меню дублируют команды основного меню, например, **Duplicate Token** — размещение на схеме копии элемента, **Custom Name** — замена названия элемента, **Custom Picture** — замена рисунка пиктограммы элемента.

В каждой библиотеке функциональные блоки объединены в разделы. В диалоговом окне библиотеки выбирается раздел, затем функциональный блок, после этого нажимается кнопка **Parameters...** для задания его параметров (вме-

---


<sup>1</sup> DSP — Digital Signal Processing (цифровая обработка сигналов).

<sup>2</sup> RF — Radio Frequency (радиочастотный диапазон).

сто нажатия на кнопку **Parameters...** можно дважды щелкнуть мышью, расположив ее указатель на выбранном блоке).

Большие системы в SystemVue легко упростить, оформляя группы элементов как иерархические структуры или метасистемы (*MetaSystems*). Метасистемы позволяют представить подсистему в виде одного элемента. Щелчок мыши по символу метасистемы открывает окно с изображением ее схемы.

SystemVue автоматически выполняет проверку соединений между элементами системы, затем выводит предупреждающие сообщения и маркерами отмечает ошибки на схеме.

В окне *Analysis* (рис. 2) отображаются графики результатов моделирования. Специальный научный калькулятор (вызывается нажатием кнопки ) имеет обширный набор функций для обработки данных, полученных в результате моделирования.

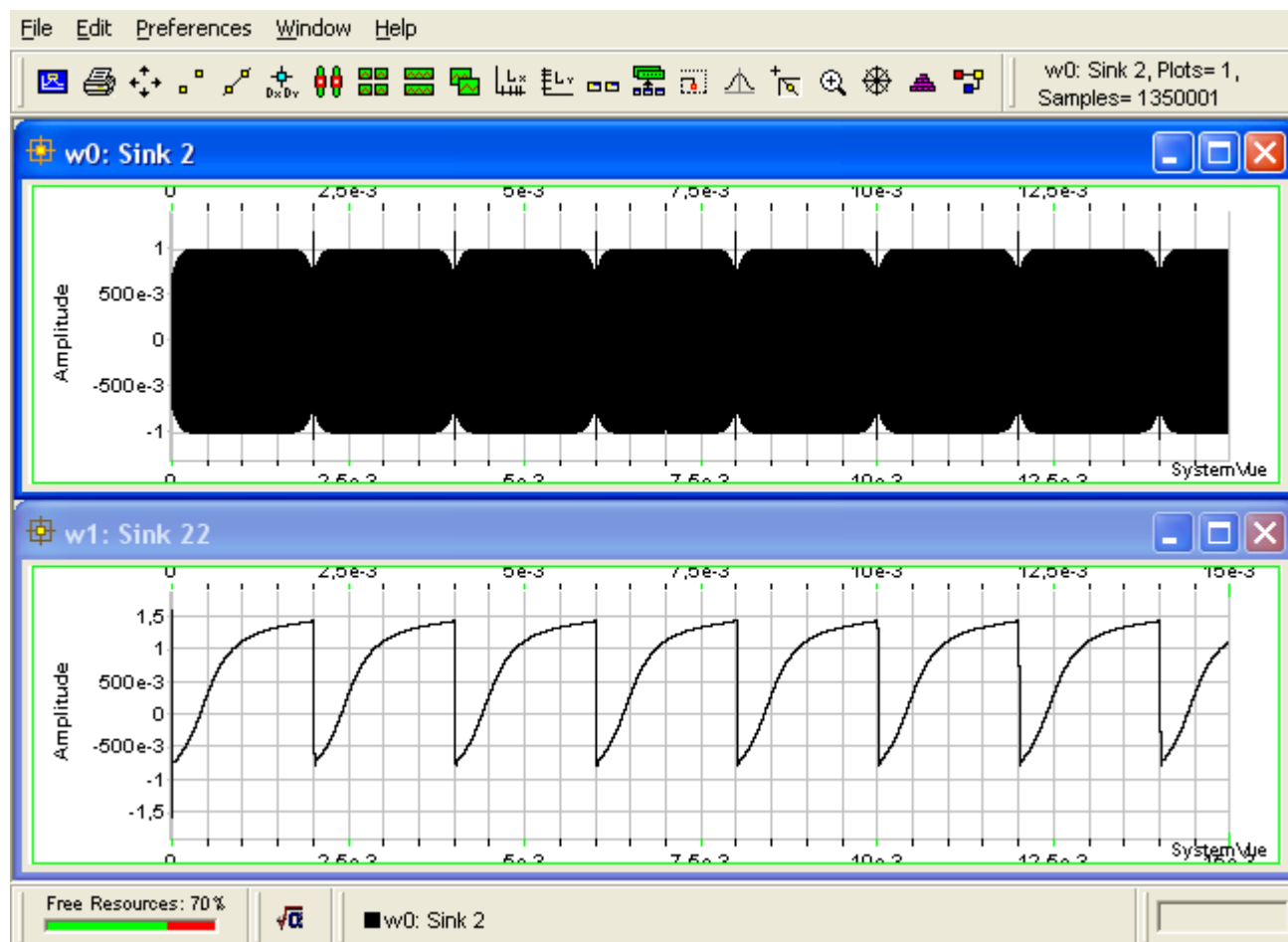


Рис. 2. Окно отображения результатов моделирования в окне *Analysis*



Пакет SystemVue предоставляет возможность анализа данных во временной или частотной областях. Можно просмотреть форму сигнала на выходе любого функционального блока по окончании или в процессе моделирования. Средства отображения результатов моделирования по своим возможностям эквивалентны стандартным измерительным приборам — осциллографам, анализаторам спектра и др.

*Соединение функциональных блоков.* Электрические связи между функциональными блоками прокладываются с помощью инструментов, перечисленных в табл. 4.





*Сохранение и открытие файлов, выход из программы.* Сохранение проекта осуществляется по команде **Save** меню **File**. По умолчанию имени файла присваивается расширение \*.svu. Существующий файл открывается по команде **Open** меню **File**. Завершается работа с SystemVue командой **Exit** меню **File**.

Таблица 4

Инструменты для работы с функциональными блоками в программе SystemVue

Пиктограмма	Название	Назначение
	Router Router (точка на схеме)	Указатель трассы, который помещается в разрыв цепи
	Connect (соединение)	Соединение блоков. После нажатия этой кнопки выполняется щелчок мышью по блоку, с выхода которого передается сигнал, а затем производится щелчок по блоку, на который этот сигнал поступает. При соединении нескольких блоков их выбор производится при нажатой клавише Ctrl. Альтернатива: соединение двух блоков путем их последовательного выбора при нажатой клавише Ctrl



Пиктограмма	Название	Назначение
	Disconnect (разъединение)	<p>Разъединение двух или нескольких блоков. После нажатия этой кнопки выполняется щелчок мышью по блоку, от которого начинается удаляемая связь, а затем производится щелчок по блоку, на котором она заканчивается. При разъединении группы блоков их выбор производится при нажатой клавише Ctrl. Альтернатива: удаление связей путем выбора блоков при нажатой клавише Shift</p>
	Delete (удаление)	Удаление блока или группы блоков
	Duplicate Tokens (дублирование блоков)	<p>Копирование блока или группы блоков. После нажатия этой кнопки выполняется щелчок мышью по копируемому блоку. После этого на схеме размещается копия блока, которую пользователь буксирует в нужное место. Альтернатива: выбор группы копируемых блоков производится при нажатой клавише Ctrl (при этом в группе скопированных блоков сохраняются электрические связи)</p>
	Reverse Token I/O (изменение положения входа и выхода блока)	<p>Изменение направления распространения сигнала: вход — справа, выход — слева. Удобно при моделировании систем с обратной связью</p>

### 4.1.2. Первый опыт работы в программе SystemVue

**Пример 1.** Рассмотрим простейшую систему, в которой генерируется гармонический (синусоидальный) сигнал и вычисляется его квадрат (рис. 3).

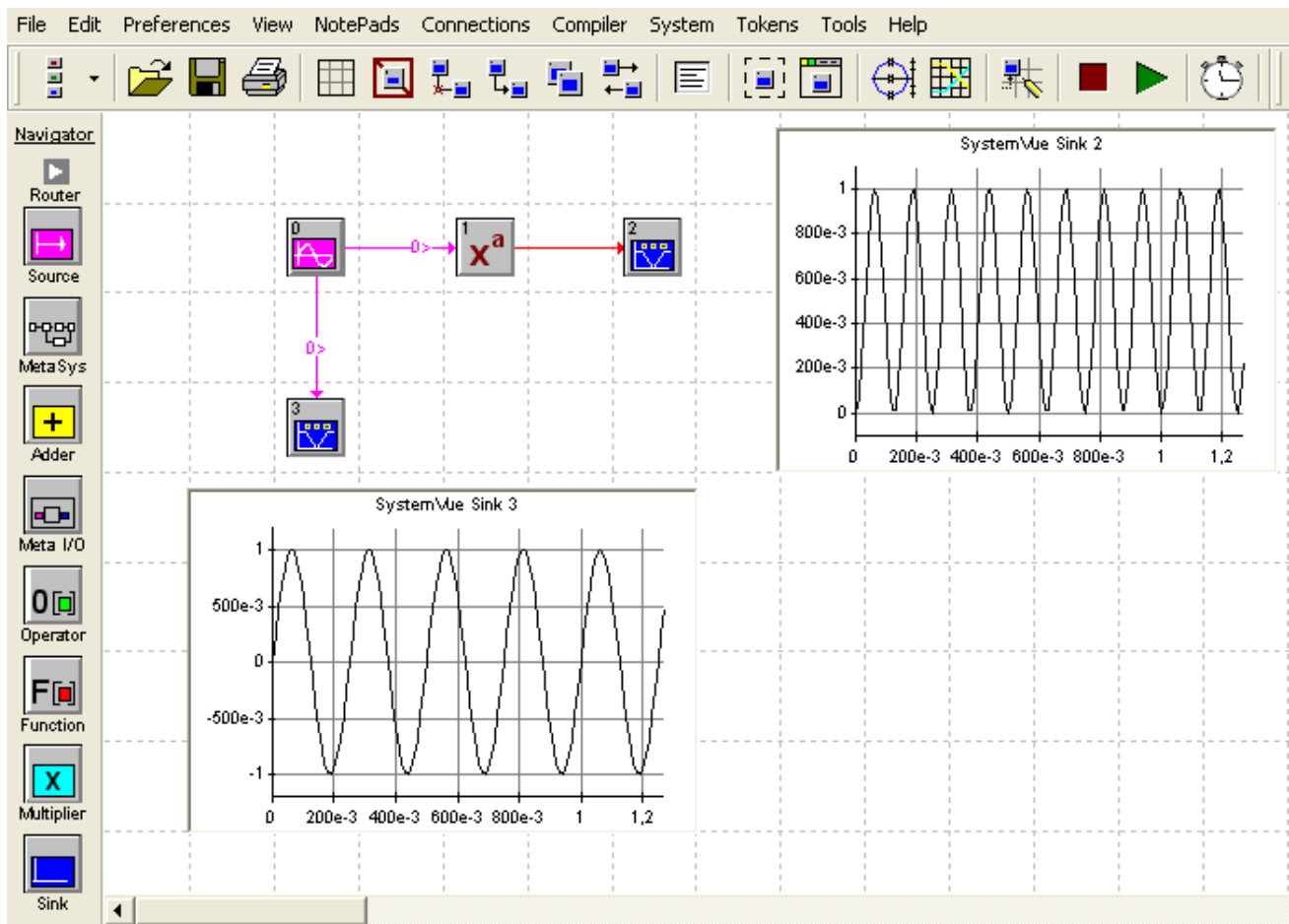



Рис. 3. Схема примера в окне ввода функциональных схем *System*

1. Для проведения моделирования необходимо задать параметры моделирования: *частоту моделирования (Sample Rate)* и *длительность реализации*, которая обычно задается числом отсчетов (*No. of Samples*). Для этого имеется специальное окно, которое раскрывается после нажатия кнопки **System Time** . Щелчком по кнопке **System Time** откроем диалоговое окно **System Time Specification**. В простейшем случае можно принять параметры моделирования, заданные по умолчанию. Для этого надо в открывшемся диалоговом окне нажать кнопку ОК.

2. Создадим схему, приведенную на рис. 3. На этой схеме четыре элемента, причем два из них одинаковые.

2.1. Поместим на рабочее поле *источник гармонического сигнала*. Для этого дважды щелкнем левой кнопкой мыши на пиктограмме **Generic Source** библиотеки **Main**. Переместим элемент на рабочее поле.

Зададим параметры источника сигнала: двойным щелчком по символу элемента откроем библиотеку **Source**. Выберем группу *Periodic*, затем — источник синусоидального напряжения *Sinusoid*. Параметры источника задаются в окне после нажатия кнопки **Parameters...** В поле *Frequency* вводим значение частоты, например 4, остальные параметры не изменяем и нажимаем кнопку ОК. И так, на рабочем поле появился первый элемент — источник гармонического сигнала с единичной амплитудой и частотой 4 Гц (на рис. 3 элемент с номером «0»).

2.2. Элемент квадратор выберем из библиотеки **GenericFunction**. Поместим элемент **Function** на рабочее поле (блок 2 на рис. 3). Двойным щелчком по символу элемента откроем библиотеку **Function**. Выберем группу *Algebraic*, затем — элемент возведения в степень  $x^a$ . В окне **Parameters...**, в поле *Exponent* вводим значение показателя степени 2 и нажимаем кнопку ОК. На рабочем поле появился второй элемент — устройство возведения в квадрат мгновенных значений входного колебания.

2.3. Разместим на схеме анализатор данных **Sink**. В каталоге библиотеки выберем группу **Graphic** и в ней элемент *SystemVue* (виртуальный осциллограф). Рядом с этим анализатором автоматически располагается поле графика, на котором будет нарисована эпюра напряжения в процессе моделирования. Расположим поле графика так, чтобы оно не закрывало элементы схемы.

Для размещения второго анализатора данных **Sink** удобно продублировать уже имеющийся на схеме анализатор. Для этого воспользуемся контекстным меню (меню правой кнопки мыши) анализатора данных **Sink**, где выберем команду **Duplicate Token**.

Очевидно, что второй анализатор данных можно было бы разместить, как и первый, с использованием библиотеки **Sink**.


Расположим все четыре элемента в соответствии со схемой (см. рис. 3).

Установим связи между элементами. Для этого имеются две возможности. Первая — с использованием элементов панели инструментов, приведенных в табл. 4. Альтернативой является соединение элементов при нажатой клавише Ctrl клавиатуры.

Обратите внимание, что соединение и разъединение элементов всегда производится по направлению распространения сигнала.

3. Выполним команду **Run System** (нажмем F5 или щелкнем по кнопке с зеленым треугольником на панели инструментов окна ввода схемы).

В графических окнах (на рис. 3 эти окна имеют надписи *SystemVue Sink 2* и *SystemVue Sink 3*) появятся графики процессов на выходе генератора и выходе квадратора. Для детального рассмотрения графиков каждое окно можно увеличить после щелчка по нему левой кнопкой мыши.

4. Перейдем в окно анализа данных *Analysis*, щелкнув по крайней правой кнопке на панели инструментов  (рис. 4).

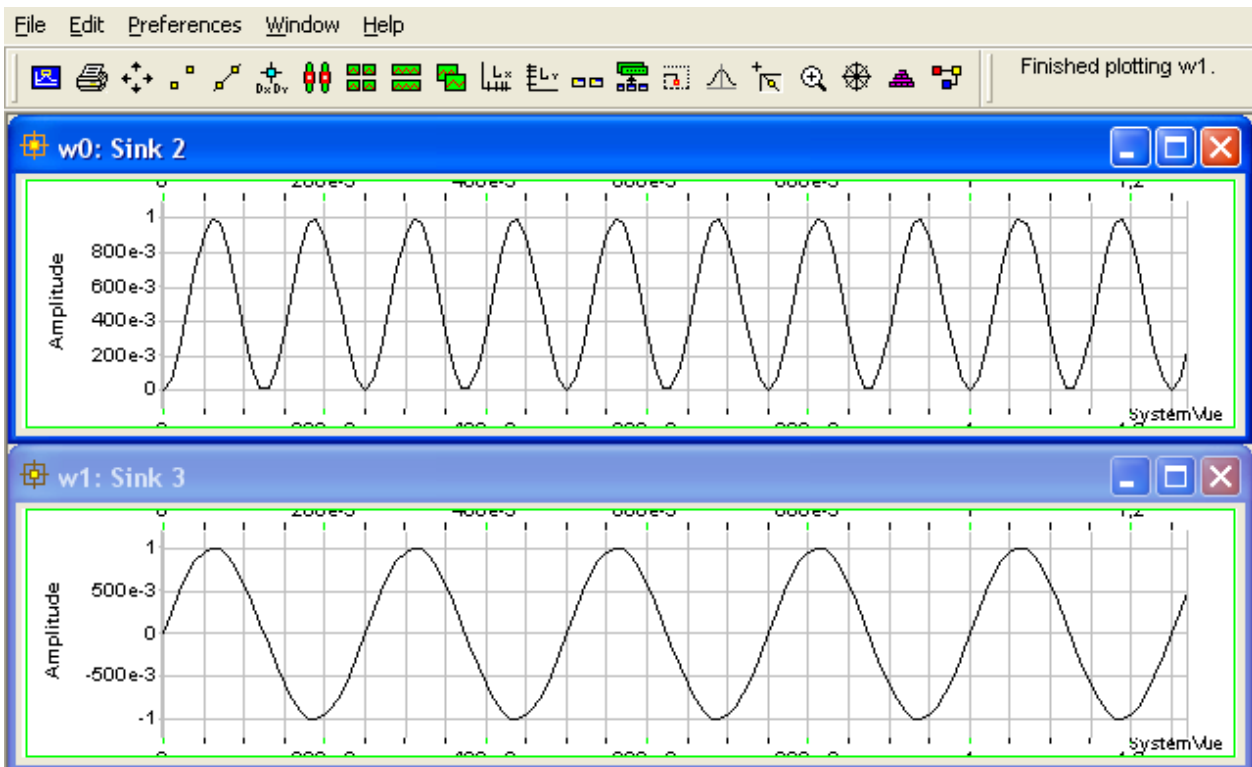





Рис. 4. Окно анализа данных *Analysis*, иллюстрирующее пример анализа генератора синусоидального сигнала во временной области

В нем должны появиться два графика. Если этого не произойдет, нажмем на кнопку **LoadNew Sink Data** , расположенную на панели инструментов окна анализа с левого края, и затем кнопку **Open All Windows** . В результате должны быть построены два графика синусоидального напряжения с частотой 4 Гц и его квадрата.

Щелкнем по кнопке **Sink Calculator**  и выберем группу *Operator*. Затем выберем пункт *Overlay Plot* (Наложение графиков). В окне заголовков графиков в правой верхней части диалогового окна надо отметить названия двух виртуальных осциллографов (при нажатой клавише Ctrl). После нажатия кнопки ОК в окне анализа данных будет построен новый график, на котором совмещены две осциллограммы (рис. 5).

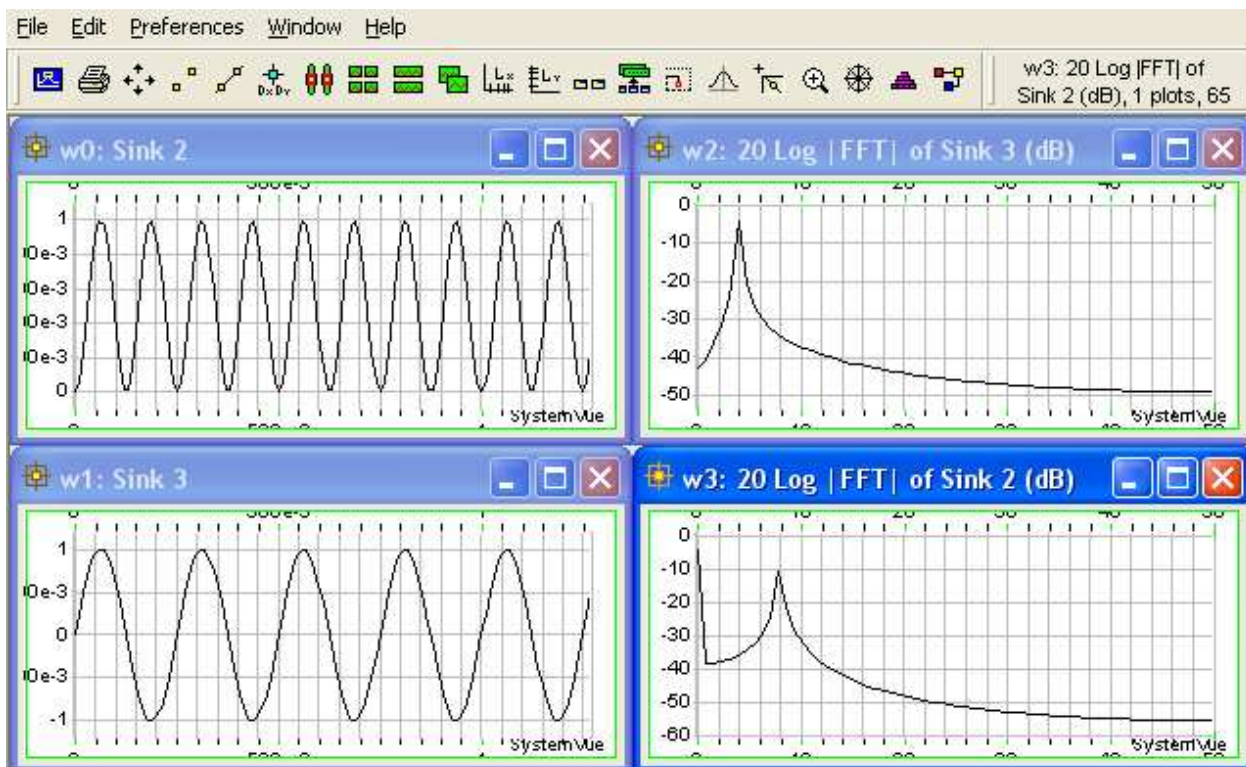



Рис. 5. Окно анализа данных *Analysis*, иллюстрирующее пример анализа генератора синусоидального сигнала в частотной области

Щелкнем снова по кнопке **Sink Calculator**  и выберем группу *Spectrum*. Затем выберем тип спектра **20 log |FFT|** и в списке окон отметим название графика, на котором построены два сигнала. В результате откроется новое графич-

ческое окно с изображением спектров сигналов. Проверим, что один спектр имеет максимум на частоте 4 Гц, а второй — на частоте 8 Гц. Для упорядочивания всех графиков нажмем кнопку **Tile Vertical** на панели инструментов окна *Analysis*.

## 4.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### «МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ВИДЕОСИГНАЛОВ»

#### 4.2.1. Цель работы

Целью работы является изучение методов анализа и моделирования временных, спектральных и корреляционных характеристик формирователей видеосигналов по следующим законам:

- периодическая пачка импульсов  $S_{12}(t)$ ;
- закон меандра  $S_{13}(t)$ ;
- псевдослучайный закон  $S_{14}(t)$ ;
- код Голда  $S_{16}(t)$ .

#### 4.2.2. Создание функциональной схемы модели

В ходе выполнения работы, используя библиотеки программы SystemVue–2006, собирается функциональная схема модели формирователя видеосигналов, приведенная на рис. 6, где ФВ — формирователь видеосигналов; Инд — индикатор.

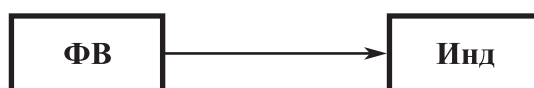


Рис. 6. Функциональная схема модели ФВ

Для создания моделей ФВ выбираются в библиотеке **Source** (источники сигналов) такие функциональные узлы, как:

- *Pulse Train* (последовательность прямоугольных импульсов);
- *Step Function* (ступенчатая функция);
- *Gold Code* (генератор кода Голда);
- *PN Gen* (генератор псевдослучайной последовательности).

Далее в меню параметров каждого функционального узла в соответствии с заданным студенту вариантом лабораторного задания устанавливают параметры видеосигналов. В качестве модели Инд используется **Sink** (анализатор данных), который подсоединяется к ФВ. В каталоге библиотеки **Sink** выбирается группа **Graphic** (график) и в ней элемент *System View* (виртуальный осциллограф).

Далее необходимо в специальном окне **System Time** (системное время) задать следующие параметры моделирования:

- *Sample Rate* (частота дискретизации);
- *Start Time* (момент начала моделирования);
- *Stop Time* (момент окончания цикла моделирования);
- *No of System Loops* (количество циклов моделирования).

Для проведения сеанса моделирования используется команда **Run System** (сеанс моделирования). При этом в графическом окне появляется график, соответствующий временному представлению моделируемого видеосигнала.

Для просмотра спектрального и корреляционного представления моделируемого видеосигнала используется окно анализа **Sink Calculator** и имеющиеся в нем закладки *Spectrum* (расчет спектров действительных сигналов) и *Corr Conv* (расчет корреляционных функций), которые реализуются в виде соответствующих графиков.

### 4.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

#### «МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ АНАЛОГОВЫХ РАДИОСИГНАЛОВ»

##### 4.3.1. Цель работы

Целью работы является изучение методов анализа и моделирования временных, спектральных и корреляционных характеристик формирователей аналоговых радиосигналов следующих типов:

- амплитудно-модулированный сигнал  $S_{32}(t)$ ;
- частотно-модулированный сигнал  $S_{33}(t)$ ;
- шумовой сигнал  $S_{34}(t)$ .

### 4.3.2. Создание функциональной схемы модели

В ходе выполнения работы, используя библиотеки программы SystemVue–2006, собирается функциональная схема модели формирователя видеосигналов, приведенная на рис. 7, где ФАР — формирователь аналоговых радиосигналов; Инд — индикатор.

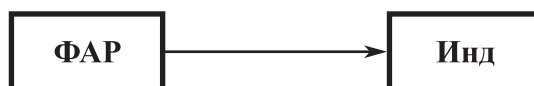


Рис. 7. Функциональная схема модели ФАР

Для создания моделей ФАР выбираются в библиотеке **Source** (источники сигналов) такие функциональные узлы, как:

- *Sinusoid* (гармонический сигнал);
- *Gauss Noise* (гауссов шум);
- *DSB AM* (амплитудный модулятор);
- *Freq Mod* (частотный генератор).

Далее в меню параметров каждого функционального узла в соответствии с заданным студенту вариантом лабораторного задания устанавливаются параметры аналоговых радиосигналов. В качестве модели Инд используется **Sink** (анализатор данных), который подсоединяется к ФАР. В каталоге библиотеки **Sink** выбирается группа **Graphic** (график) и в ней элемент *System View* (виртуальный осциллограф).

Далее необходимо в специальном окне **System Time** (системное время) задать следующие параметры моделирования:

- *Sample Rate* (частота дискретизации);
- *Start Time* (момент начала моделирования);
- *Stop Time* (момент окончания цикла моделирования);
- *No of System Loops* (количество циклов моделирования).

Для проведения сеанса моделирования используется команда **Run System** (сеанс моделирования). При этом в графическом окне появляется график, соответствующий временному представлению моделируемого радиосигнала.



Для просмотра спектрального и корреляционного представления моделируемого радиосигнала используется окно анализа **Sink Calculator** и имеющиеся в нем закладки *Spectrum* (расчет спектров действительных сигналов) и *Corr Conv* (расчет корреляционных функций), которые реализуются в виде соответствующих графиков.

#### 4.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### «МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ДИСКРЕТНЫХ РАДИОСИГНАЛОВ»

#### 4.4.1. Цель работы

Целью работы является изучение методов анализа и моделирования временных, спектральных и корреляционных характеристик формирователей дискретных радиосигналов следующих типов:

- амплитудно-манипулированных сигналов  $S_{21}(t)$ ;
- фазоманипулированных сигналов по законам: а) меандра  $S_{22a}(t)$ ; б) по псевдослучайному закону —  $S_{22б}(t)$ ;
- частотно-манипулированных сигналов  $S_{23}(t)$ ;
- фазоманипулированных сигналов с периодической псевдослучайной последовательностью  $S_{26}(t)$ .

#### 4.4.2. Создание функциональной схемы модели

В ходе выполнения работы, используя библиотеки программы SystemVue–2006, собирается функциональная схема модели формирователя видеосигналов, приведенная на рис. 8, где ФДР — формирователь дискретных радиосигналов; Инд — индикатор.

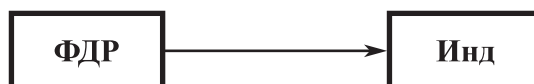


Рис. 8. Функциональная схема модели ФДР

Для создания моделей ФДР выбираются в библиотеке **Source** (источники сигналов) такие функциональные узлы, как:

- *Sinusoid* (гармонический сигнал);
- *PSK Carrier* (фазовая манипуляция);
- *QMod* (квадратурный модулятор);
- *NCO* (цифровой генератор с программным управлением);
- *Gold Code* (генератор кода Голда);
- *PN Gen* (генератор псевдослучайной последовательности).

Далее в меню параметров каждого функционального узла в соответствии с заданным студенту вариантом лабораторного задания устанавливаются параметры дискретных радиосигналов. В качестве модели Инд используется **Sink** (анализатор данных), который подсоединяется к ФДР. В каталоге библиотеки **Sink** выбирается группа **Graphic** (график) и в ней элемент *System View* (виртуальный осциллограф).

Далее необходимо в специальном окне **System Time** (системное время) задать следующие параметры моделирования:

- *Sample Rate* (частота дискретизации);
- *Start Time* (момент начала моделирования);
- *Stop Time* (момент окончания цикла моделирования);
- *No of System Loops* (количество циклов моделирования).

Для проведения сеанса моделирования используется команда **Run System** (сеанс моделирования). При этом в графическом окне появляется график, соответствующий временному представлению моделируемого дискретного радиосигнала.

Для просмотра спектрального и корреляционного представления моделируемого дискретного радиосигнала используется окно анализа **Sink Calculator** и имеющиеся в нем закладки *Spectrum* (расчет спектров действительных сигналов) и *Corr Conv* (расчет корреляционных функций), которые реализуются в виде соответствующих графиков.

## 4.5. ВАРИАНТЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ № 1—4

### 4.5.1. Общие данные

Общие данные для всех лабораторных работ:  $|A| = 1$  В;  $U_m = 1$  В;  $\sigma = 1$  В;  
 $T_{\Pi}/\tau_{\Pi} = 10$ ;  $\tau_{\Pi} = T_3$ ;  $m = \beta = 0,5$ ;  $T_K = 1024 T_3$ ;  $\Delta f_s = \Delta f_d = \Delta f_{\Pi}$ .

### 4.5.2. Варианты лабораторных работ

Варианты исходных данных к лабораторным работам № 1—4 приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Варианты исходных данных к лабораторным работам № 1—4

№ п/п	Наименование параметров ФМС	Индексация и значения параметров ФМС
1	Тип видеосигналов	1.1 — $S_{12}(t)$ ; 1.2 — $S_{13}(t)$ ; 1.3 — $S_{15}(t)$ ; 1.4 — $S_{14}(t)$ ; 1.5 — $S_{16}(t)$
2	$T_3$ (с) — длительность элемента	2.1 — $T_3 = 10^{-3}$ ; 2.2 — $T_3 = 10^{-4}$ ; 2.3 — $T_3 = 10^{-5}$ ; 2.4 — $T_3 = 10^{-6}$
3	Тип дискретных сигналов	3.1 — $S_{21}(t)$ ; 3.2 — $S_{22a}(t)$ ; 3.3 — $S_{226}(t)$ ; 3.4 — $S_{23}(t)$ ; 3.5 — $S_{26}(t)$
4	Тип аналоговых сигналов	4.1 — $S_{32}(t)$ ; 4.2 — $S_{33}(t)$ ; 4.3 — $S_{34}(t)$ ;
5	$f_c$ (Гц) — несущая частота сигналов	5.1 — $f_c = 10/T_3$ ; 5.2 — $f_c = 15/T_3$ ; 5.3 — $f_c = 20/T_3$ ; 5.4 — $f_c = 25/T_3$
6	$F$ (Гц) — модулирующая частота	6.1 — $10^2$ ; 6.2 — $3 \cdot 10^2$ ; 6.3 — $6 \cdot 10^2$ ; 6.4 — $10^3$ ; 6.5 — $2 \cdot 10^3$
7	$\Delta f_3$ (Гц) — ширина спектра ЧМ и шумового сигнала	7.1 — $10^4$ ; 7.2 — $2 \cdot 10^4$ ; 7.3 — $6 \cdot 10^4$ ; 7.4 — $10^5$

Варианты исходных данных к лабораторным работам № 1— 4

Варианты	Лабораторная работа № 2	Лабораторная работа № 3	Лабораторная работа № 4
1	1.1; 2.1	4.1; 3.1; 5.1; 6.1; 7.1	2.1; 3.1; 5.1; 6.1
2	1.1; 2.1	4.1; 3.1; 5.1; 6.1; 7.1	2.1; 3.1; 5.1; 6.1
3	1.1; 2.1	4.1; 3.2; 5.1; 6.1; 7.1	2.1; 3.2; 5.1; 6.1
4	1.1; 2.1	4.1; 3.1; 5.1; 6.1; 7.1	2.2; 3.1; 5.1; 6.1
5	1.1; 2.1	4.1; 3.1; 5.1; 6.2; 7.1	2.1; 3.1; 5.1; 6.2
6	1.1; 2.1	4.1; 3.1; 5.2; 6.1; 7.1	2.1; 3.1; 5.2; 6.1
7	1.1; 2.2	4.2; 3.2; 5.2; 6.2; 7.1	2.2; 3.2; 5.2; 6.2
8	1.1; 2.2	4.2; 3.2; 5.2; 6.2; 7.1	2.2; 3.2; 5.2; 6.2
9	1.1; 2.2	4.2; 3.2; 5.1; 6.2; 7.1	2.2; 3.2; 5.1; 6.2
10	1.1; 2.2	4.2; 3.2; 5.2; 6.1; 7.1	2.2; 3.2; 5.2; 6.1
11	1.1; 2.2	4.2; 3.3; 5.2; 6.2; 7.1	2.2; 3.3; 5.2; 6.2
12	1.1; 2.2	4.2; 3.4; 5.2; 6.2; 7.1	2.2; 3.4; 5.2; 6.2
13	1.1; 2.3	4.3; 3.3; 5.3; 6.3; 7.1	2.3; 3.3; 5.3; 6.3
14	1.1; 2.3	4.3; 3.3; 5.3; 6.2; 7.1	2.3; 3.3; 5.3; 6.2
15	1.1; 2.3	4.3; 3.4; 5.3; 6.3; 7.1	2.4; 3.4; 5.3; 6.3
16	1.1; 2.4	4.3; 3.2; 5.3; 6.3; 7.1	2.2; 3.2; 5.3; 6.3
17	1.1; 2.4	4.3; 3.1; 5.3; 6.1; 7.1	2.1; 3.1; 5.3; 6.1
18	1.1; 2.4	4.3; 3.4; 5.1; 6.2; 7.1	2.4; 3.4; 5.1; 6.2

#### 4.6. ОТЧЁТЫ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

В соответствии с заданным вариантом составляются отчеты по контрольной и лабораторным работам.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- результаты выполнения лабораторной работы;
- сравнительный анализ лабораторных исследований с теоретическими расчетами;
- выводы по работе.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОАТТЕСТАЦИИ**

1. Какие сигналы называют дискретными, цифровыми, аналоговыми, континуальными?
2. Что называют базой сигнала и как связана база сигнала с частотными и временными характеристиками сигнала?
3. Чем отличается амплитудный спектр сигнала от его энергетического спектра?
4. Какие сигналы называют ортогональными?
5. Что собой представляет  $\delta$ -функция и каковы её свойства?
6. Что следует понимать под шириной спектра сигнала?
7. Запишите выражение прямого преобразования Фурье некоторой функции времени  $x(t)$ . Запишите выражение обратного преобразования Фурье.
8. Какими свойствами обладает «белый шум», какой вид имеет его автокорреляционная функция?
9. Как связаны длительность видеоимпульса и ширина его спектра?
10. Как отличаются спектры видео- и радиоимпульсов одинаковой формы, длительности и амплитуды?
11. Как выглядит автокорреляционная функция прямоугольного видеоимпульса, прямоугольного радиоимпульса?
12. Какие сигналы называют сложными и каковы их главные общие свойства?
13. Как связаны между собой фаза гармонического сигнала и его циклическая частота?
14. В чем заключается отличительное свойство эргодического случайного процесса?
15. Как, зная энергетический спектр стационарного случайного процесса, вычислить его среднеквадратическое значение?
16. Как определяется понятие одностороннего энергетического спектра стационарного случайного процесса?
17. Что такое импульсная характеристика линейной цепи? Что такое переходная характеристика линейной цепи? Какова их взаимосвязь?
18. Запишите выражения, описывающие переходные характеристики дифференцирующей и интегрирующей RC-цепей.

19. Как принято определять ширину полосы пропускания узкополосных электрических цепей?
20. Какой смысл, абсолютный или относительный, вкладывается в понятие «широкополосный сигнал»?
21. Дайте классификацию сигналов по различным классификационным признакам.
22. Дайте определение корреляционной функции и перечислите ее основные свойства.
23. Какова размерность спектральной плотности мощности?
24. Сформулируйте теорему Котельникова.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дятлов А. П., Дятлов П. А.* Анализ и моделирование демодуляторов сигналов: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. — Таганрог: ТРТУ, 2003. — 83 с.
2. *Разевиг В. Д.* Система схемотехнического моделирования «Micro-Cap VII». — М.: Горячая линия — Телеком, 2003. — 368 с.
3. *Дятлов П. А.* Руководство пользователя пакета прикладных программ «Micro-Cap»: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. — Таганрог: ТРТУ, [http://www.rts.tsure.ru/mc\\_v.pdf](http://www.rts.tsure.ru/mc_v.pdf), 2002. — 64 с.
4. *Златин И.Л.* SystemView 6.0 — системное проектирование радиоэлектронных устройств. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006. — 424 с.
5. *Загидулин Р.Ш., Карутин С.Н., Стешенко В.Б.* SystemView — системное моделирование устройств обработки сигналов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2005. — 294 с.

**Дятлов Анатолий Павлович**

**Дятлов Павел Анатольевич**

Руководство к циклу лабораторных работ  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ  
ВИДЕО- И РАДИОСИГНАЛОВ**

Для студентов специальностей 210304 «Радиоэлектронные системы»,  
210304 «Средства связи с подвижными объектами»  
всех форм обучения

<i>Ответственный за выпуск</i>	<i>Дятлов А. П.</i>
<i>Редактор</i>	<i>Проценко И. А.</i>
<i>Корректор</i>	<i>Селезнёва Н. И.</i>
<i>Компьютерная вёрстка</i>	<i>Дятлов П. А.</i>

ЛР № 020565 от 25 июня 1997 г. Подписано к печати 18.06.2012 г.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Офсетная печать. Усл. п.л. — 2,5. Уч.-изд. л. — 2,3.

Заказ №                      Тираж                      экз.

«С»

---

Издательство Технологического института  
Южного федерального университета  
ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44  
Типография Технологического института  
Южного федерального университета  
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1