

621.396.6(07)

Р

№

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное

автономное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Южный федеральный университет»

**АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОСИСТЕМ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПОВЫШЕННОЙ
СКРЫТНОСТЬЮ**

Таганрог 2014

УДК 621.396.6(07)

Дятлов А. П., Дятлов П. А., Шостак А. Н. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям «Анализ и моделирование радиосистем с повышенной скрытностью». – Таганрог: ИТА ЮФУ, 2014. – 40 с.

Разработаны методические указания к практическим занятиям, контрольным и лабораторным работам, посвящённые анализу и моделированию радиосистем передачи информации с повышенной скрытностью.

Методические указания предназначены для студентов специальностей 210304, 210402 дневной, заочной и дистанционной форм обучения, а также специалистов на курсах переподготовки и повышения квалификации.

Табл. 4. Ил. 29. Библиогр. 6 назв.

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

ПРЕДИСЛОВИЕ

Бурный прогресс науки и техники вызывает потребность широких слоев населения в непрерывном образовании, 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 анализа и моделирования радиосистем передачи информации (РСПИ) с повышенной скрытностью 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 анализу моделирования РСПИ. 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, методических указаний к практическим занятиям, контрольным и лабораторным работам. Для моделирования РСПИ в процессе выполнения лабораторных работ предлагается использовать демонстрационные версии программы системотехнического моделирования «SystemVue», 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. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О СКРЫТЫХ РСПИ

Потребность в постоянном росте объёма передаваемой информации с высоким уровнем достоверности приводит к необходимости увеличения количества используемых радиоэлектронных средств (РЭС) связи и управления. Однако такой подход является экстенсивным и порождает проблемы в обеспечении скрытности, электромагнитной совместимости, помехозащищённости и помехоустойчивости РЭС. Решению перечисленных проблем способствует использование в качестве носителей информации широкополосных сигналов, а также оптимальных пространственно-временных алгоритмов принимаемых сигналов.

Весьма эффективно проблема скрытности и электромагнитной совместимости решается путём обеспечения энергетической скрытности РЭС, которая наиболее просто реализуется в миллиметровом диапазоне волн при использовании низкоэнергетических широкополосных сигналов и высоконаправленных антенн. Такой подход описан в ряде публикаций [1, 2], когда применяются ФМ

и ППРЧ сигналы, однако при этом аспектам использования ЛЧМ сигналов уделено незначительное внимание.

В данной работе рассматриваются особенности построения РСПИ с повышенной скрытностью с использованием широкополосных ЛЧМ сигналов, в которых информативным признаком является знак скорости перестройки частоты, а также стенда для её моделирования.

Структура исследуемой РСПИ приведена на рис. 1, где A_1 , A_2 – антенны; $\Phi_{\text{ЛЧМ}}$ – формирователь ЛЧМ сигнала; ИС – источник сообщения; Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 – гетеродины; См – смеситель; Ком – коммутатор; ПФ – полосовой фильтр; УМ – усилитель мощности; ЛТП – линейный тракт приёмника; ЛЗ – линия задержки; П – перемножитель; УСЧ – устройство сдвига частоты; ЧД – частотный детектор; УФ – узкополосный фильтр; Об – обнаружитель; РУ – решающее устройство; Пер – передающая часть; Пр – приёмная часть.

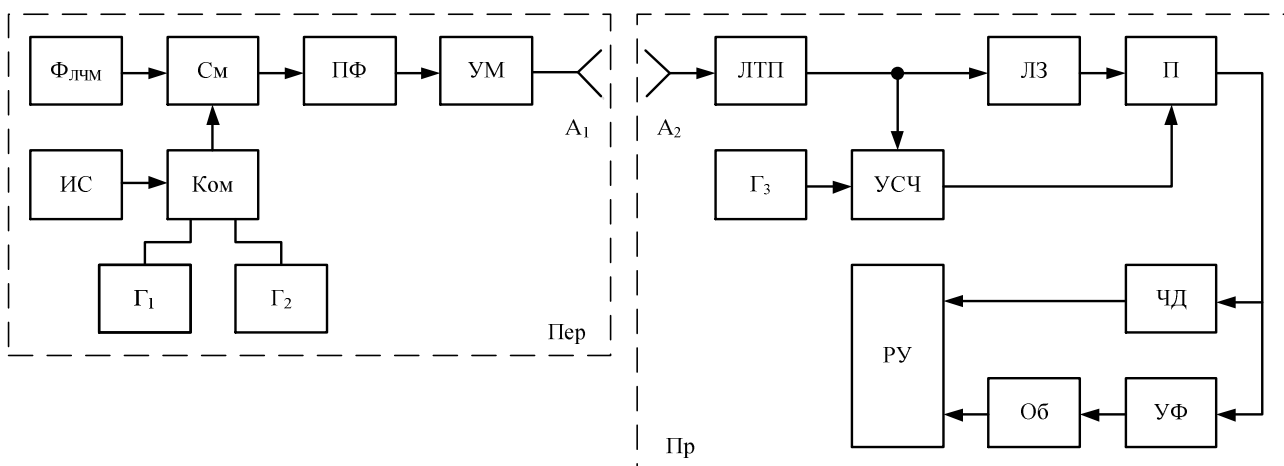


Рис. 1. Структура РСПИ

Принцип действия состоит в следующем. В передающей части СС формирователь ЛЧМ на основе пассивного или активного методов производит опорный сигнал $S_1(t)$, представляющий периодическую последовательность ЛЧМ импульсов [5]:

$$S_1(t) = \sum_{i=1}^N S_0(t - t_i) \text{ при } t_0 + (i-1)\tau_{\text{и}} \leq t_i \leq t_0 + i\tau_{\text{и}}; \quad N = \frac{T_c}{\tau_{\text{и}}};$$

$$S_0(t) = U_0 \cos \left[2\pi \left(f_0 - \frac{f_{\text{д}}}{2} \right) t + \pi\beta t^2 + \varphi_0 \right],$$

где $S_0(t)$ – сигнал, соответствующий одиночному ЛЧМ импульсу с амплитудой U_0 , средней частотой f_0 , девиацией $f_{\text{д}}$, скоростью перестройки частоты β , длительностью импульса $\tau_{\text{и}}$, начальной фазой φ_0 ; T_c – длительность сеанса связи; N – количество импульсов за T_c ; t_0 – момент начала сеанса связи.

Далее в передающей части осуществляется преобразование частоты опорного сигнала $S_1(t)$ вверх и вниз с использованием гетеродинов Γ_1 и Γ_2 с целью формирования двухкомпонентного ЛЧМ сигнала $S_{11}(t)$, $S_{12}(t)$, обеспечивающего передачу информации путем смены знака скорости изменения частоты β :

$$S_{10}(t) = \Pi_1(t)S_{11}(t) + \Pi_2(t)S_{12}(t);$$

$$S_{11}(t) = U_1 \cos \left[2\pi \left(f_{\Gamma_1} + f_0 - \frac{f_{\text{д}}}{2} \right) t + \pi\beta t^2 + \varphi_0 + \varphi_{\Gamma_1} \right];$$

$$S_{12}(t) = U_1 \cos \left[2\pi \left(f_{\Gamma_2} - f_0 + \frac{f_{\text{д}}}{2} \right) t - \pi\beta t^2 - \varphi_0 + \varphi_{\Gamma_1} \right];$$

$$f_{\Gamma_1} + f_0 - \frac{f_{\text{д}}}{2} = f_{\Gamma_2} - f_0 + \frac{f_{\text{д}}}{2} = f_3;$$

$$\Pi_{1,2}(t) = \sum_{i=1}^N a_i \text{rect}(t - t_i); \quad a_i \in [+1; -1];$$

$$\text{rect}(t - t_i) = \begin{cases} 1 & \text{при } t_0 + (i-1)\tau_{\text{и}} \leq t_i \leq t_0 + i\tau_{\text{и}}; \\ 0 & \text{при других } t, \end{cases}$$

где $S_{11}(t)$ – ЛЧМ импульс, соответствующий передаче бита (+1), с амплитудой U_1 , средней частотой f_s , начальной фазой $\varphi_0 + \varphi_{\Gamma_2}$; $S_{12}(t)$ – ЛЧМ импульс, соответствующий передаче бита (-1), с амплитудой U_1 , средней частотой f_s , начальной фазой $\varphi_{\Gamma_2} - \varphi_0$; f_{Γ_1} , φ_{Γ_1} – частота и начальная фаза гетеродина Γ_1 ; f_{Γ_2} , φ_{Γ_2} – частота и начальная фаза гетеродина Γ_2 ; $\Pi_{1,2}(t)$ – манипулирующие последова-

тельности при передаче битов (+1) и (-1); a_i – коэффициенты в манипулирующих последовательностях $\Pi_{1,2}(t)$; $\text{rect}[x]$ – временное окно.

При реализации РСПИ в миллиметровом диапазоне волн в случае использования в передающем устройстве генераторов с относительной нестабильностью $\delta f/f = 10^{-4}$ величина априорной неопределённости по частоте составляет порядка 10 МГц и более.

В приемной части РСПИ после усиления, преобразования частоты и частотной селекции на промежуточной частоте $f_{\text{пч}}$ выделяется аддитивная смесь сигнала $S(t)$ и шума $n(t)$:

$$y_2(t) = S_{\text{пч}}(t) + n(t);$$

$$S_{\text{пч}}(t) = U_{\text{мс}} \cos[2\pi f_{\text{пч}} t + \Pi_{1,2}(t)\beta t^2 + \varphi_{\text{пч}}]$$

$$f_{\text{пч}} = f_s - f_{\text{сч}}; \quad \Delta f_{\text{д}} \leq \Delta f_{\text{н}}; \quad R_n(\tau) = \sigma_n^2 \text{sinc}(\pi \Delta f_{\text{н}} \tau) \cos 2\pi f_{\text{пч}} t,$$

где $S_{\text{пч}}(t)$ – сигнал с амплитудой $U_{\text{мс}}$, частотой $f_{\text{пч}}$, фазой $\varphi_{\text{пч}}$; $R_n(\tau)$ – автокорреляционная функция шума $n(t)$ с дисперсией σ_n^2 , шириной спектра $\Delta f_{\text{н}}$; $f_{\text{сч}}$ – частота синтезатора частоты в ЛТП.

Далее аддитивная смесь $y_2(t)$ преобразуется в автокорреляционном устройстве следующим образом [5]:

$$U_A(t) = \int_{-\infty}^t h_{\Phi}(t-x) y_2(x-\tau) y_2(f, x) dx;$$

$$h_{\Phi}(t) = 2f_{\Phi} \text{sinc}(\pi f_{\Phi} t) \cos 2\pi f_{\Phi} t; \quad f_{\Phi} = f_{\Gamma 3};$$

$$y_2(t-\tau) = S_{\text{пч}}(t-\tau) + n(t-\tau); \quad y_2(f, t) = S_{\text{пч}}(f, t) + n(t);$$

$$S_{\text{пч}}(f, t) = K_{\text{усч}} U_{\text{мс}} \cos[2\pi(f_{\text{пч}} + f_{\Gamma 3})t + \Pi_{1,2}(t)\beta t^2 + \varphi_{\text{пч}} + \varphi_{\Gamma 3}],$$

где $U_A(t)$ – напряжение на выходе автокорреляционного устройства; $h_{\Phi}(t)$ – импульсная реакция на выходе полосового фильтра (ПФ), устанавливаемого на выходе перемножителя; f_{Φ} , Δf_{Φ} – средняя частота и полоса пропускания ПФ; $f_{\Gamma 3}$, $\varphi_{\Gamma 3}$ – частота и начальная фаза гетеродина $\Gamma 3$; $y_2(t-\tau)$ – аддитивная смесь после линии задержки; $y_2(f, t)$ – аддитивная смесь на выходе устройства сдвига частоты, в качестве которого используется балансный смеситель с подавлением зер-

кального канала [4]; $K_{\text{ycч}}$ – коэффициент передачи УСЧ; $S_{\text{пч}}(f, t)$ – сигнал на выходе УСЧ с начальной фазой $\varphi_{\text{пч}} + \varphi_{\text{г3}}$.

Напряжение на выходе автокорреляционного устройства $U_A(t)$ состоит из трёх компонентов:

$$U_A(t) = U_{\text{ss}}(t) + U_{\text{sn}}(t) + U_{\text{nn}}(t),$$

где $U_{\text{ss}}(t)$, $U_{\text{sn}}(t)$, $U_{\text{nn}}(t)$ – компоненты, полученные в результате взаимодействия «сигнал–сигнал», «сигнал–шум», «шум–шум».

Существенным достоинством исследуемой РСПИ является инвариантность полезного эффекта к априорной неопределённости о средней частоте сигнала f_0 , нестабильности частоты синтезатора частот $f_{\text{сч}}$ и наличию доплеровского смещения частоты $f_{\text{д}}$.

Полезный эффект соответствует первому компоненту:

$$U_{\text{ss}}(t) = K_{\text{п}} K_{\text{ycч}} \frac{U_{\text{ms}}}{2} \cos[2\pi(f_{\text{г3}} + \Pi_{1,2}(t)\beta\tau)t] \quad \text{при } \Delta f_{\text{ф}} \geq 2\beta\tau + 2/\tau_{\text{и}},$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент передачи перемножителя размерностью 1/В.

При этом компонент $U_{\text{ss}}(t)$ с частотой $(f_{\text{г3}} + \beta\tau)$ соответствует приёму бита (+1), а компонент $U_{\text{ss}}(t)$ с частотой $(f_{\text{г3}} - \beta\tau)$ — соответствует приёму бита (–1). Кроме того компонент $U_{\text{ss}}(t)$ инвариантен как к нестабильности частот гетеродинов в Пер и Пр, так и к доплеровскому смещению частоты.

С целью повышения помехоустойчивости РСПИ целесообразно на выходе перемножителя вместо одного полосового фильтра в частотном детекторе использовать два узкополосных фильтра с полосой пропускания $\Delta f_{\text{yf}} = 2/\tau_{\text{и}}$ и средними частотами $f_{\text{yf1}} = \Delta f_{\text{г3}} + \beta\tau$ и $f_{\text{yf2}} = \Delta f_{\text{г3}} - \beta\tau$, когда величина запаздывания выбирается из условий $\tau \ll \tau_{\text{и}}$, $\tau > \tau_{\text{кп}}$ и $\tau_{\text{и}} > 2/\tau_{\text{и}}\beta$, где $\tau_{\text{кп}}$ – коэффициент автокорреляции шума на выходе ЛТП.

Следует отметить адаптивные свойства РСПИ, которые проявляются в виде возможности её функционирования при изменении в передающем устройстве таких параметров излучения, как f_0 , $\Delta f_{\text{д}}$, $\tau_{\text{и}}$ при условии, что скорость перестройки частоты ЛЧМ сигнала β остаётся постоянной.

Поскольку в частотном детекторе реализуется некогерентная обработка, то при прямоугольных амплитудно-частотных характеристиках узкополосных фильтров, как показано в [5], вероятность ошибочных решений $P_{\text{ош}}$ может определяться из соотношения:

$$P_{\text{ош}} = 0,5e^{-\frac{g_{\text{вых}}^2}{4}}; \quad g_{\text{вых}} = \sqrt{2}g_{\text{уф}}\sqrt{\Delta f_{\text{уф}}/f_{\text{в}}}; \quad f_{\text{в}} \leq \Delta f_{\text{уф}},$$

где $g_{\text{вых}}$ – отношение сигнал/шум по напряжению на выходе ЧД; $f_{\text{в}}$ – верхняя граничная частота в ФНЧ в каналах ЧД.

При соответствующем выборе величины τ , когда $\tau < 0,1\tau_{\text{и}}$, $\tau \gg 1/\Delta f_{\text{п}}$, а также при $\Delta f_{\text{п}} \approx \Delta f_{\text{д}}$, $\Delta f_{\text{уф}} = 2/\tau_{\text{и}}$, $f_{\text{в}} \geq \Delta f_{\text{уф}}$, как показано в работе [5], отношение сигнал/шум на выходе узкополосного фильтра равно

$$g_{\text{уф}} = \frac{g_{\text{вх}}^2 \sqrt{\Delta f_{\text{п}} / \Delta f_{\text{уф}}}}{\sqrt{2} \sqrt{1 + 2g_{\text{вх}}^2}},$$

где $g_{\text{вх}}$ – входное отношение сигнал/шум по напряжению.

Для обеспечения $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ необходимо обеспечить $g_{\text{вых}} = 7,4$ и $g_{\text{уф}} = 5,3$. При $\Delta f_{\text{п}} = \Delta f_{\text{д}} = 10^8$ Гц, $\tau_{\text{и}} = 10^{-4}$ с, $\tau = 10^{-6}$ с, $\Delta f_{\text{ГЗ}} = 10$ МГц требуется использовать в частотном детекторе узкополосные фильтры с полосой $\Delta f_{\text{уф}} = 20$ кГц и со средними частотами $f_{\text{уф1}} = 9$ МГц и $f_{\text{уф2}} = 11$ МГц. Функционирование РСПИ при этих исходных условиях соответствует $g_{\text{вх}}^2 = 10^{-1}$ (-10 дБ), что обеспечивает её энергетическую скрытность.

Скорость передачи информации в данной РСПИ определяется из условия $R = 1/\tau_{\text{и}}$ и составляет для вышерассмотренного примера 10 кбит/с.

К достоинствам РСПИ следует также отнести отсутствие синхронизации по несущей частоте.

2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЮЩЕГО СТЕНДА

С целью проверки теоретических расчётов и решения оптимизационных задач по совокупности таких характеристик РСПИ как $g_{\text{вх}}^2$, $P_{\text{ош}}$, $\Delta f_{\text{д}}$, R , $\Delta f_{\text{уф}}$ при

разных исходных данных можно использовать моделирующий стенд, реализованный на основе продуктов программы системотехнического моделирования SystemVue.

Структура стенда приведена на рис. 2.

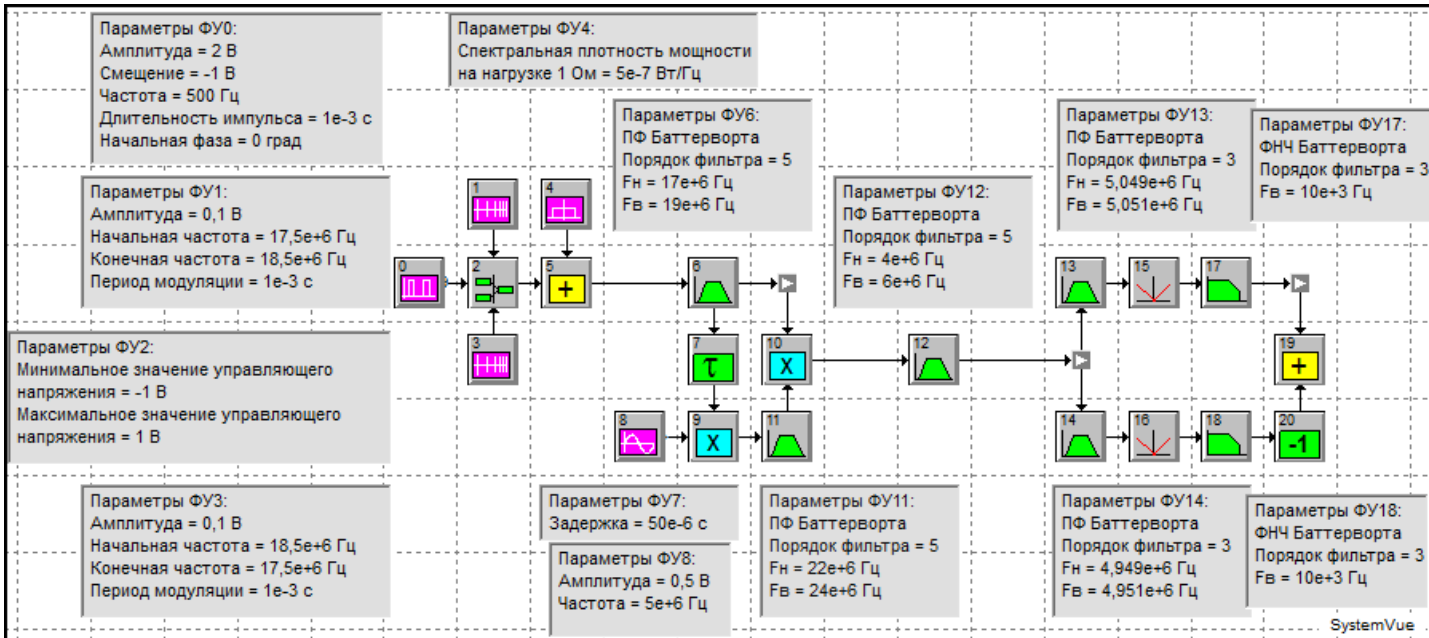


Рис. 2. Функциональная схема стенда для моделирования РСПИ

Параметры стенда выбраны с учётом уменьшения нагрузки на ЭВМ и, следовательно, сокращения времени выполнения моделирования.

Функциональные узлы (ФУ) (0–3) формируют ЛЧМ сигнал с амплитудой $U_0 = 0,1$ В, средней частотой $f_0 = 18$ МГц, девиацией $\Delta f_d = 10^6$ Гц, скоростью перестройки частоты $\beta = 10^9$ Гц/с и длительностью импульса $\tau_{\text{и}} = 10^{-3}$ с. Это осуществляется с помощью коммутатора (ФУ2), управляемого напряжением от генератора прямоугольных импульсов (ФУ0), что обеспечивает поочерёдное переключение между двумя генераторами ЛЧМ импульсов с разными знаками скорости перестройки частоты, тем самым создавая ЛЧМ сигнал манипулированный по закону меандра.

Моделирование будет проводиться в соответствии с параметрами, установленными в окне **System Time**, которое приводится на рис. 3.

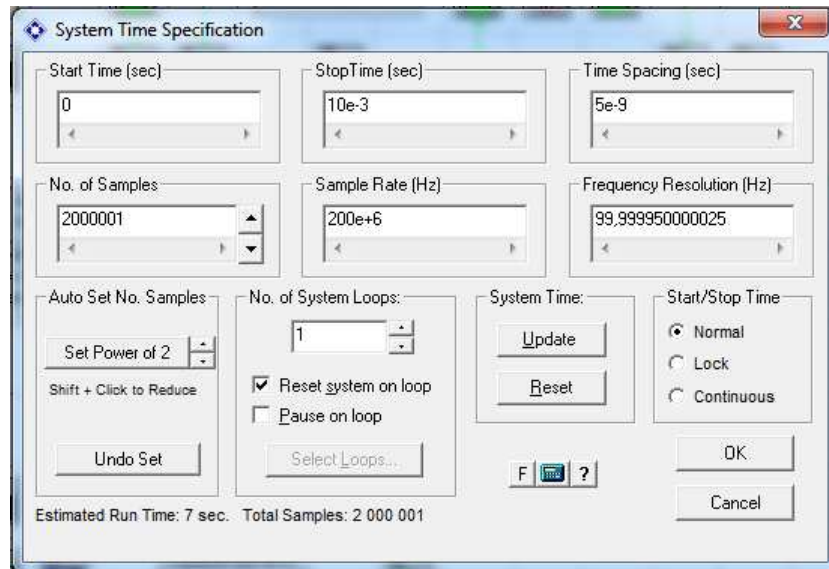


Рис. 3. Окно System Time

Прохождение ЛЧМ сигнала без воздействия шума демонстрируется посредством временных и спектральных эюр, полученных на выходах ФУ, которые приводятся ниже на рис. 4–8.

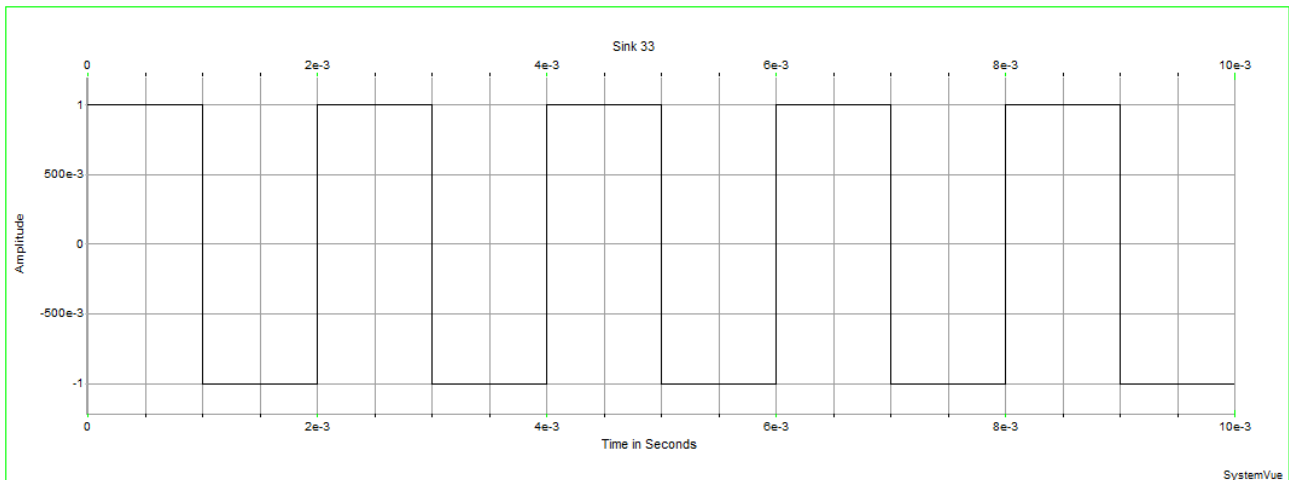


Рис. 4. Сигнал на выходе ФУ0

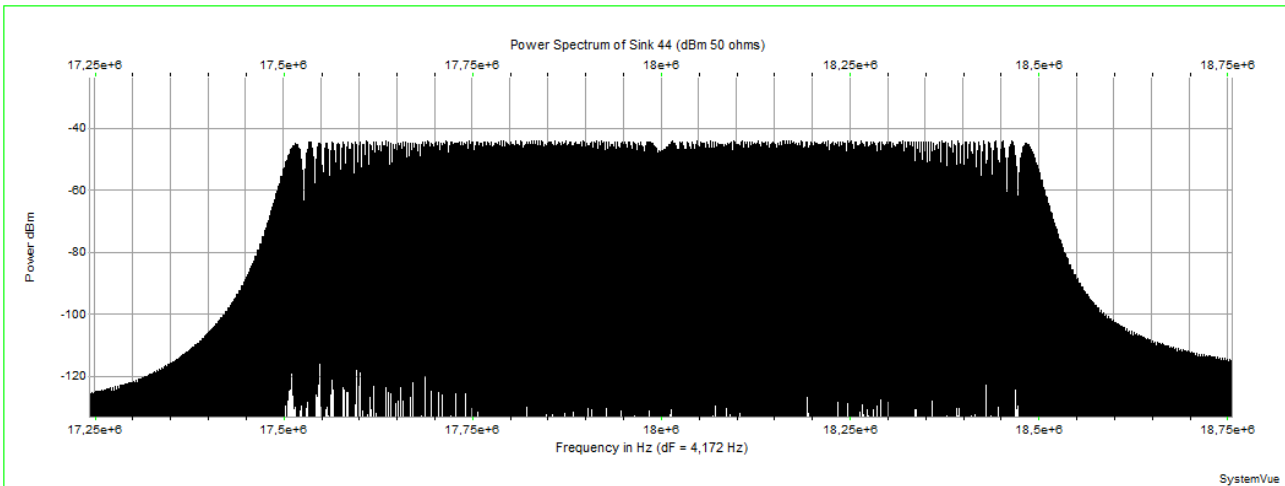


Рис. 5. Спектр на выходе ФУ2

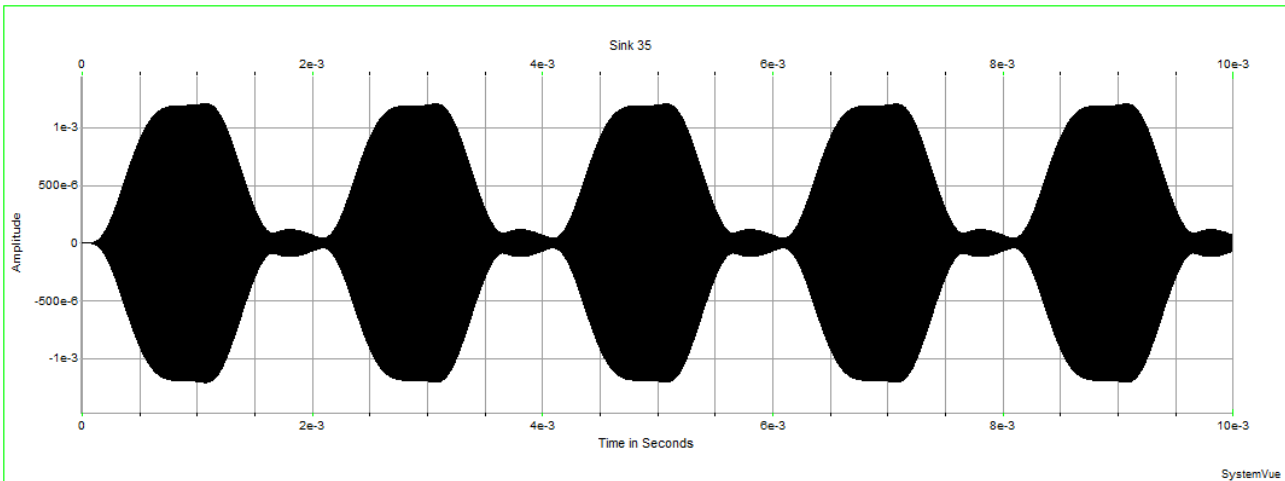


Рис. 6. Сигнал на выходе ФУ13

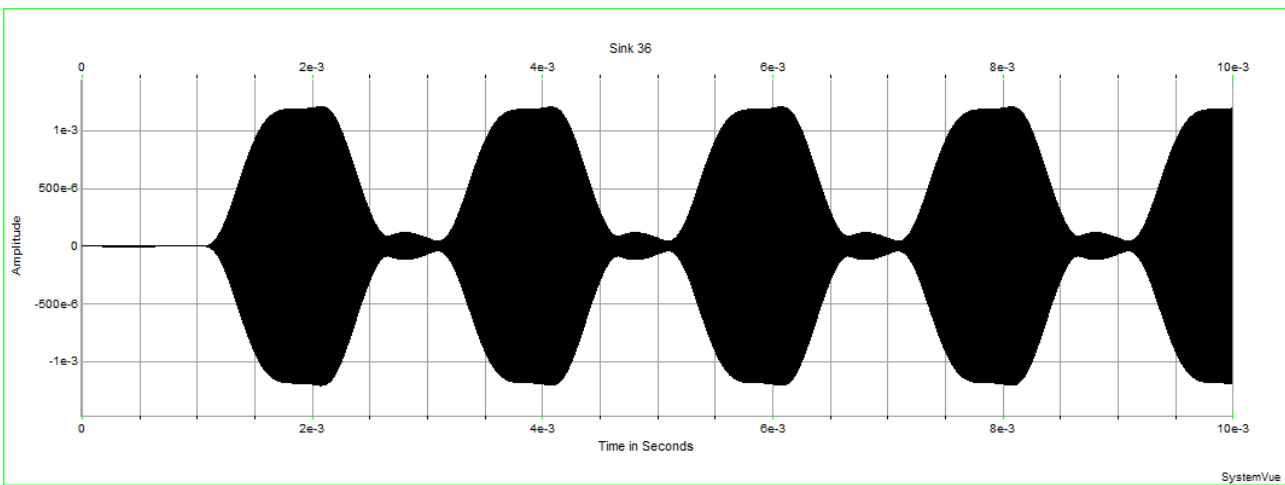


Рис. 7. Сигнал на выходе ФУ14

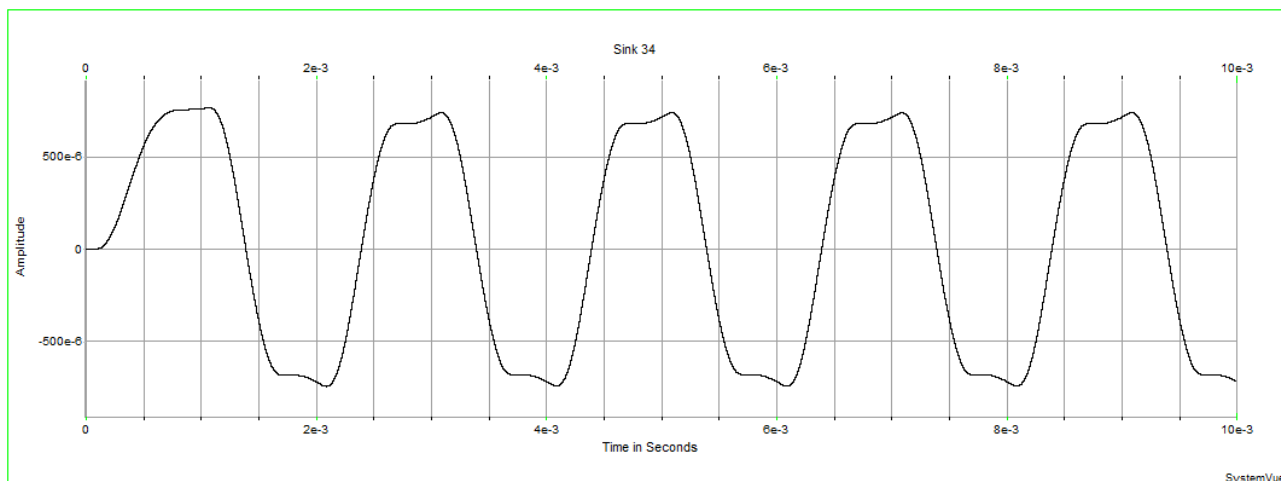


Рис. 8. Сигнал на выходе ФУ19

Для проверки инвариантности полезного эффекта РСПИ к априорной неопределённости о средней частоте ЛЧМ сигнала f_0 проведём аналогичное моделирование, параметры которого будут отличаться только значением средней частоты f_0 . В этом моделировании значение средней частоты ЛЧМ сигнала $f_0 = 17,8$ МГц, полученные при этом временные эюры, совпадают с эюрами, приведёнными на рис. 6–8, что подтверждает инвариантность РСПИ к изменениям частоты f_0 .

Для изучения прохождения ЛЧМ сигнала, манипулированного по закону ПСП, через моделируемую РСПИ, функциональную схему стенда можно легко модернизировать, путём добавления генератора ПСП. Например, используем генератор золотого кода, который генерирует ПСП, свойства которых в литературе хорошо изучены.

Полученная функциональная схема стенда изображена на рис. 9.

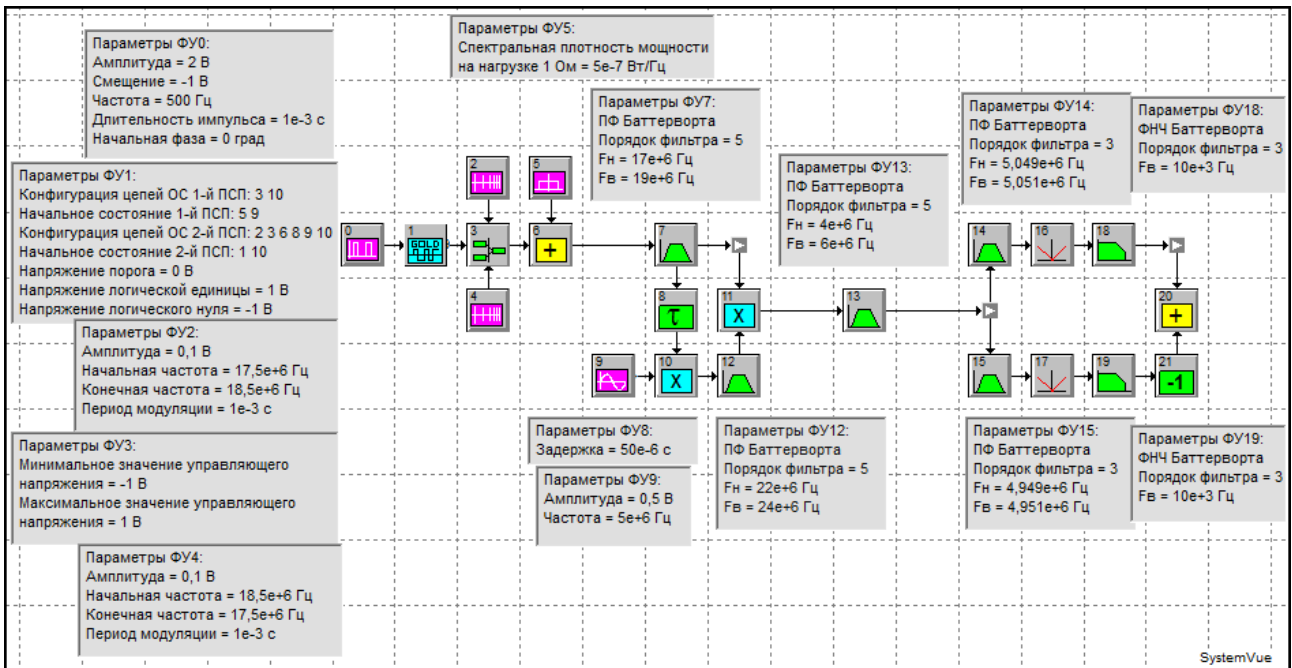
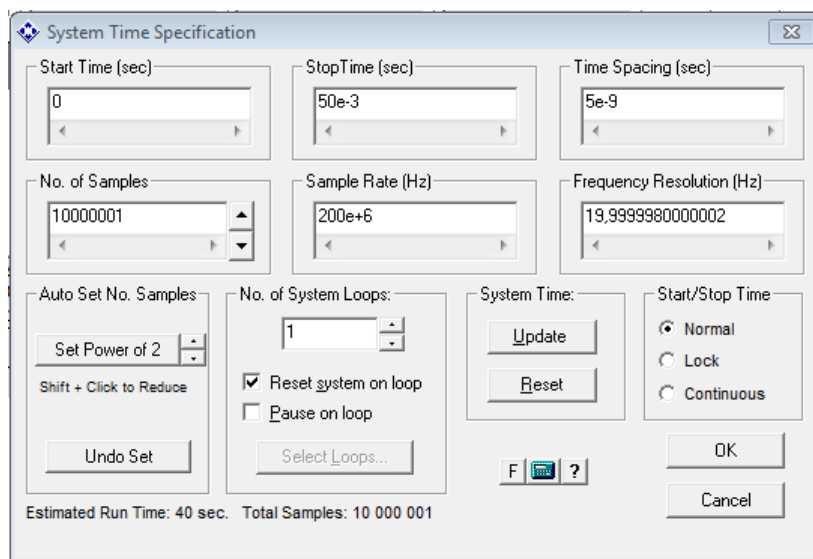


Рис. 9. Функциональная схема стенда для моделирования РСПИ

На начальном этапе моделирование будет проводиться только при наличии ЛЧМ сигнала и в соответствии с параметрами, установленными в окне **System Time**, которое приводится на рис. 10.

Прохождение ЛЧМ сигнала, манипулированного по закону ПСП, изображается с помощью временных и спектральных эпюр, полученных на выходах ФУ, которые представлены на рис. 11–15.

Рис. 10. Окно **System Time**

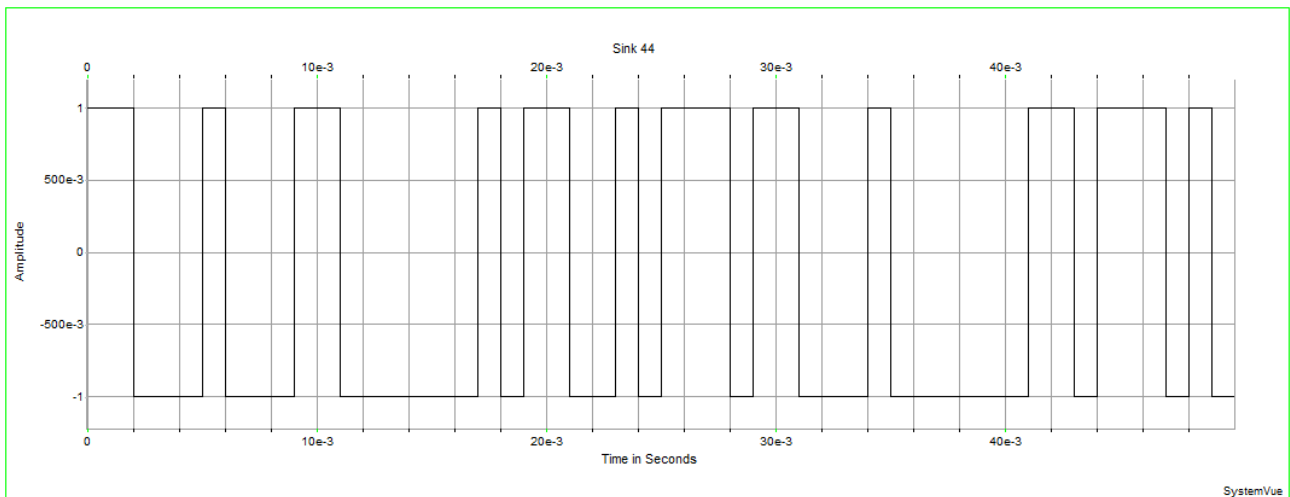


Рис. 11. Сигнал на выходе ФУ1

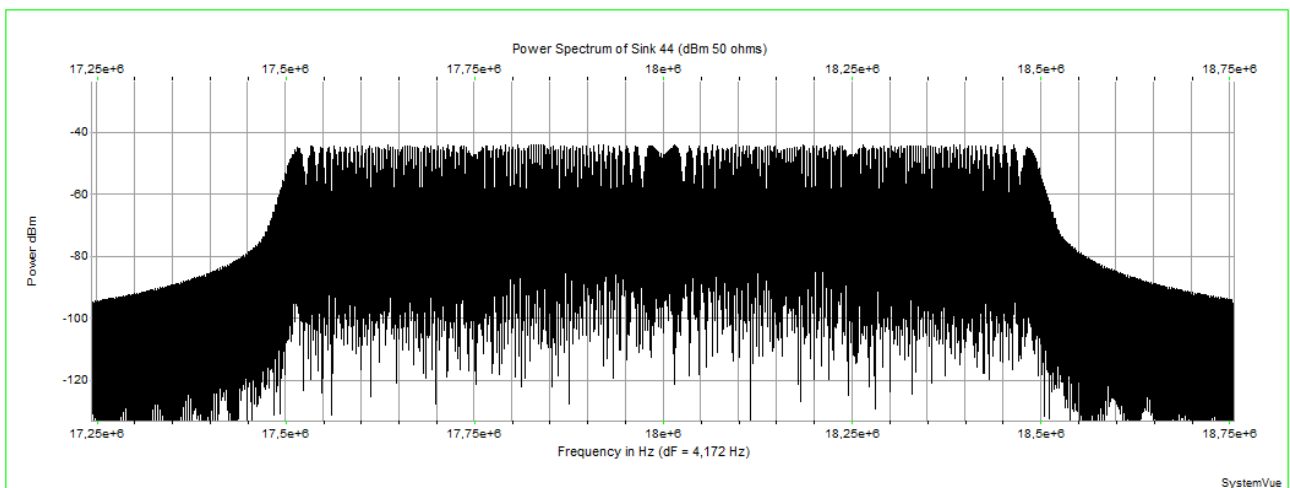


Рис. 12. Спектр на выходе ФУ3

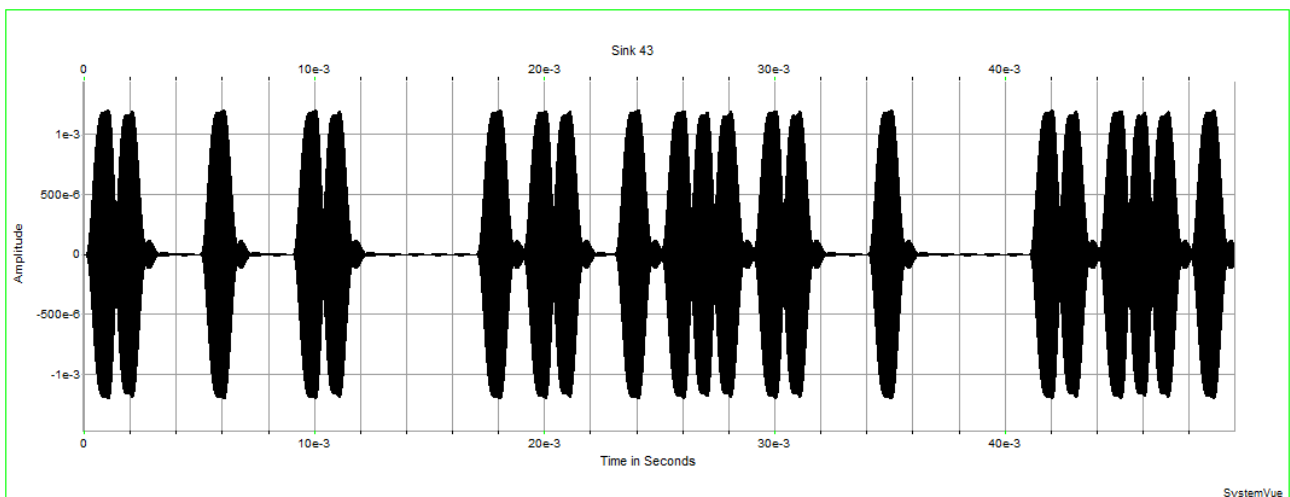


Рис. 13. Сигнал на выходе ФУ14

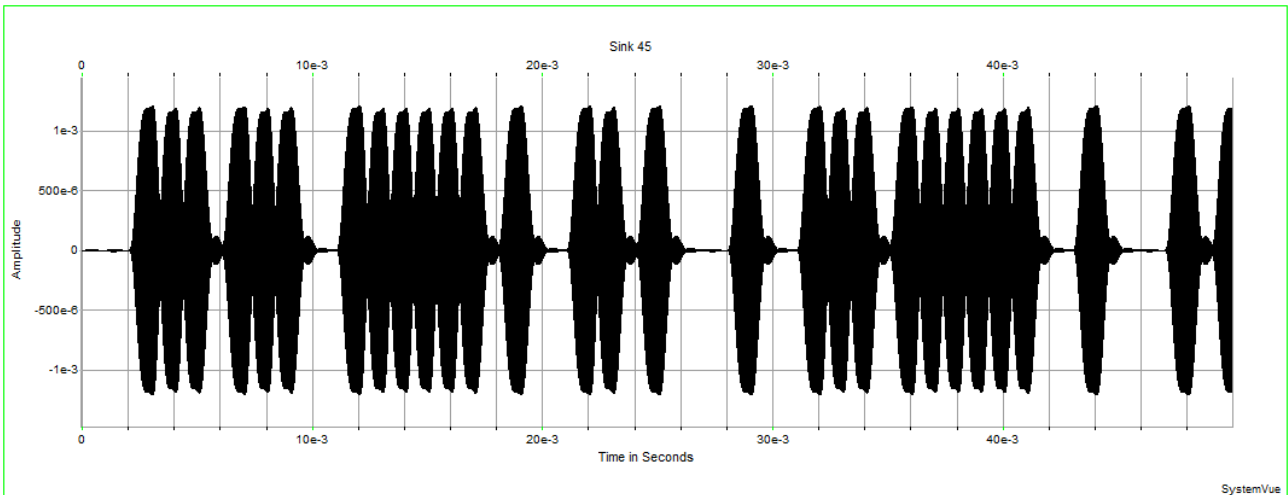


Рис. 14. Сигнал на выходе ФУ15

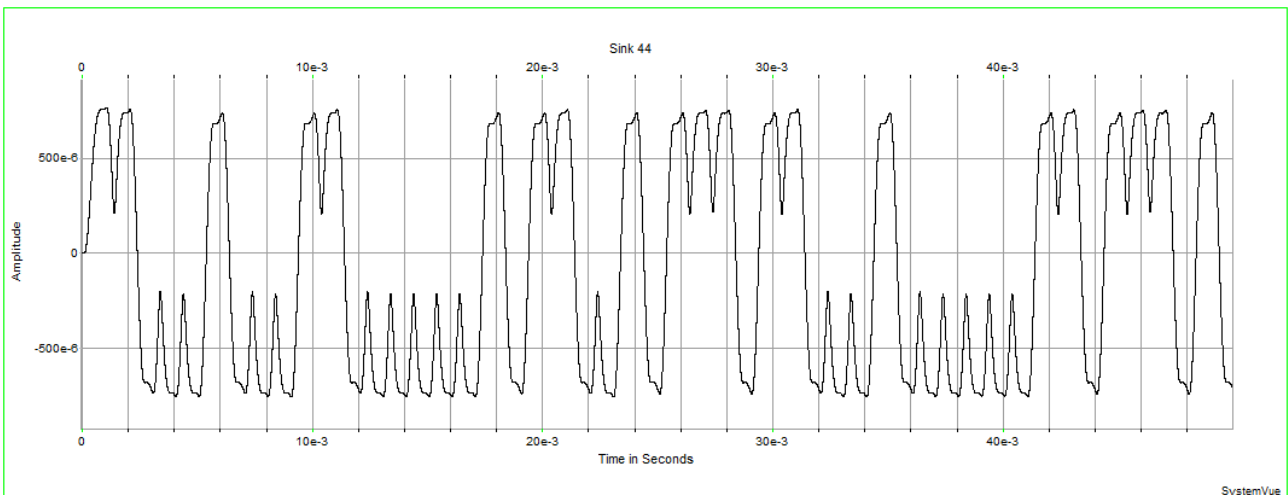


Рис. 15. Сигнал на выходе ФУ20

Полученные результаты моделирования прохождения ЛЧМ сигнала, манипулированного по закону ПСП, через ФУ РСПИ, подтверждают теоретические расчёты.

Для исследования экспериментальной зависимости выходного отношения сигнал/шум от входного отношения сигнал/шум $g_{\text{вых}} = f(g_{\text{вх}})$ будет использоваться стенд, представленный на рис. 2, который моделирует прохождение ЛЧМ сигнала манипулированного по закону меандра. Несмотря на то, что в реальной РСПИ используются псевдослучайные манипулирующие последовательности. Применение меандровой манипулирующей последовательности по-

зволяет упростить процесс анализа как исследуемой зависимости $g_{\text{вых}} = f(g_{\text{вх}})$, так и многих других характеристик рассматриваемой РСПИ.

Расчет теоретических значений выходного отношения сигнал/шум будет осуществляться с помощью следующего выражения:

$$g_{\text{вых}} = \sqrt{2}g_{\text{уф}} = \frac{g_{\text{вх}}^2 \sqrt{\Delta f_{\text{n}} / \Delta f_{\text{уф}}}}{\sqrt{1 + 2g_{\text{вх}}^2}} \quad \text{при } \Delta f_{\text{уф}} \leq f_{\text{в}},$$

а практические значения выходного отношения сигнал/шум будут определяться из следующего соотношения:

$$g_{\text{вых}} = \frac{m_{\text{sn}} - m_{\text{nn}}}{\sqrt{\sigma_{\text{sn}}^2 + \sigma_{\text{nn}}^2}},$$

где m_{sn} – математическое ожидание выходного эффекта при воздействии на обнаружитель процесса $y(t)$; m_{nn} – математическое ожидание выходного эффекта при воздействии на обнаружитель помехи $n(t)$; σ_{sn} – СКО выходного эффекта, обусловленное взаимодействием типа «сигнал–шум»; σ_{nn} – СКО выходного эффекта, обусловленное взаимодействием типа «шум–шум».

Для получения необходимых статистических сведений ($m_{\text{sn}}, \sigma_{\text{sn}}, m_{\text{nn}}, \sigma_{\text{nn}}$) в моделирующем стенде, представленном на рис. 2, вначале устанавливается СКО шума $\sigma_{\text{n}} = 1$ В на выходе ПФ (ФУ6) путём подачи на вход устройства только шумового процесса от генератора шума (ФУ4), со спектральной плотностью мощности при нагрузке в 1 Ом, $N_{\text{n}} = 5 \cdot 10^{-7}$ Вт/Гц, которая определяется из соотношения:

$$N_{\text{ш}} = \frac{\sigma_{\text{n}}^2}{\Delta f_{\text{n}}}.$$

При установленных параметрах моделирования в окне **System Time**, изображенном на рис. 16, полученный шумовой процесс на выходе ПФ (ФУ6) с СКО (**Std Deviation**) $\sigma_{\text{n}} = 1,007$ В, приводится на рис. 17.

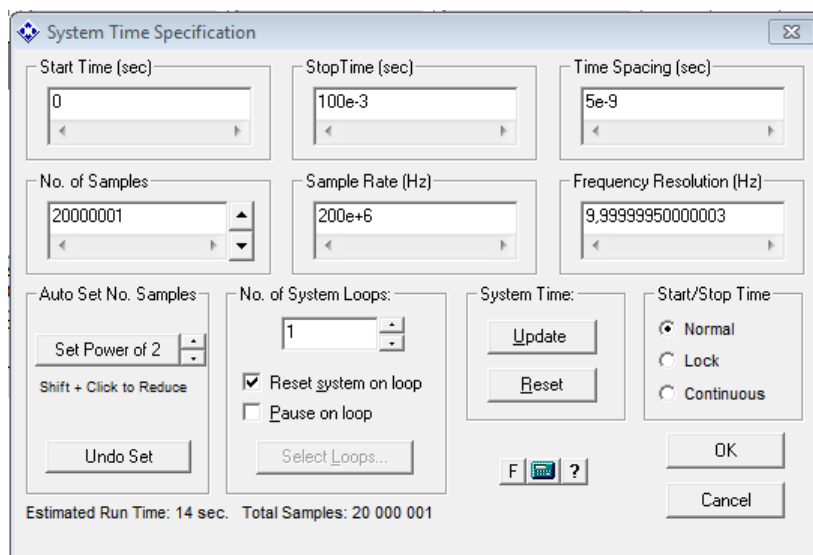


Рис. 16. Окно System Time

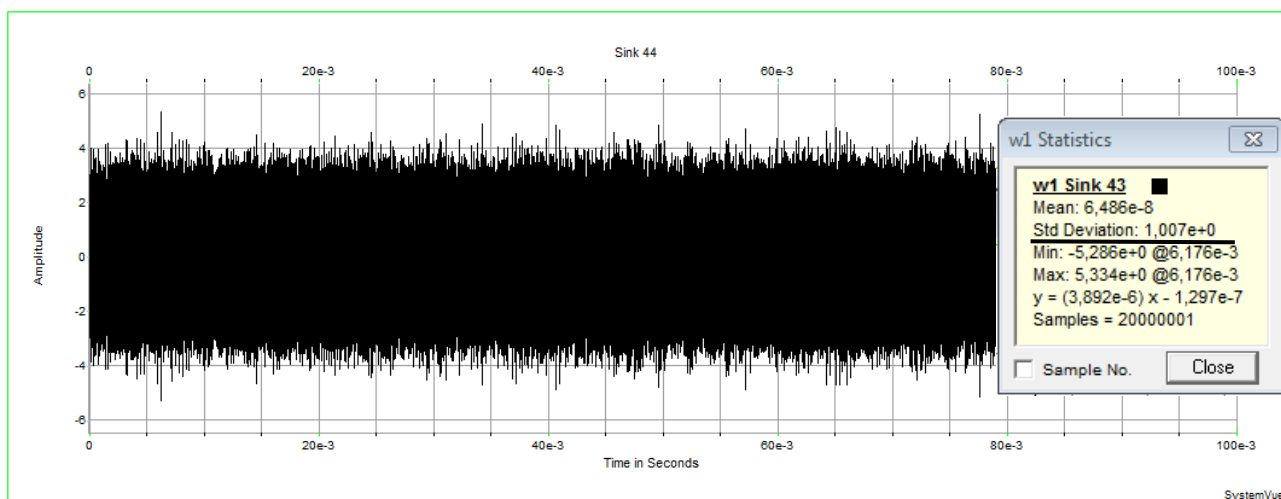


Рис. 17. Шумовой процесс на выходе ПФ (ФУБ)

После установления требуемого значения СКО шумового процесса на выходе ПФ, параметры генератора шума в дальнейшем исследовании будут оставаться неизменными.

Описанная выше настройка моделирующего стенда позволяет осуществлять простую регулировку входного отношения сигнал/шум g_{BX} , путём изменения амплитуды U_{ms} ЛЧМ сигнала, в соответствии с выражением

$$g_{\text{BX}} = \frac{U_{\text{ms}}}{\sqrt{2}\sigma_n}.$$

С целью проверки достоверности данной регулировки входного отношения сигнал/шум, целесообразно узнать коэффициент передачи ПФ (ФУ6) на его центральной частоте $f_{пф} = 18$ МГц. Для этого на вход ПФ подаётся гармонический сигнал с амплитудой $U_{мс} = 1$ В и частотой $f_s = 18$ МГц. Полученная временная эпюра сигнала на выходе ПФ (ФУ6) приводится на рис. 18, где видно, что амплитуда сигнала незначительно уменьшилась $U_{пф} = 0,9998$ В, т. е. коэффициент передачи ПФ при этом $K_{пф} \approx 1$, следовательно, рассматриваемая регулировка будет обеспечивать достоверные значения входного отношения сигнал/шум.

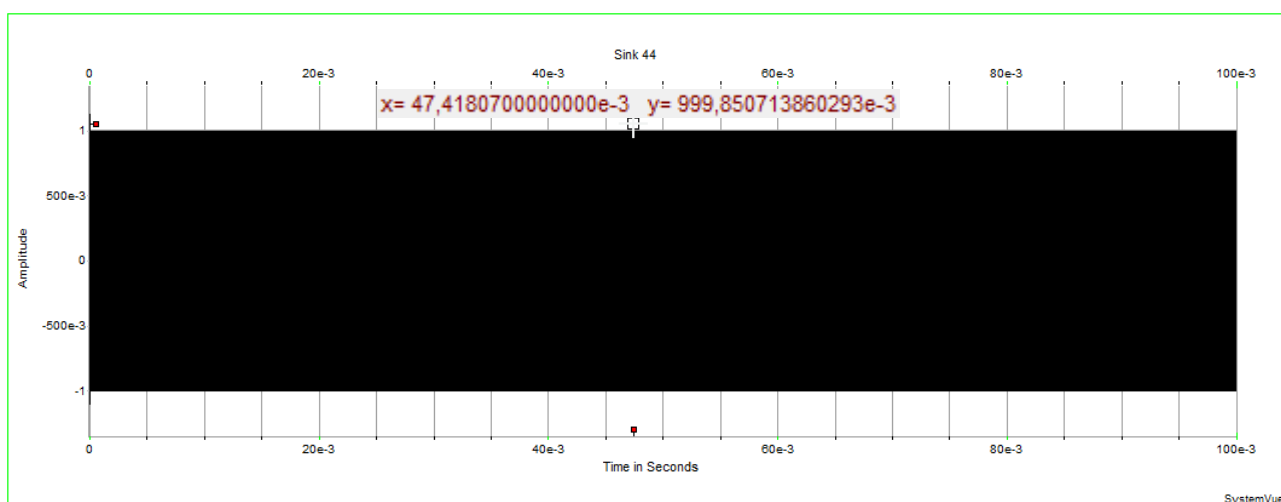


Рис. 18. Сигнал на выходе ПФ (ФУ6)

Для оценки выходного отношения сигнал/шум $g_{\text{вых}}$ сначала необходимо определить математическое ожидание выходного эффекта m_{nn} и его СКО σ_{nn} на выходе ФУ19, при воздействии на обнаружитель только шумового процесса $n(t)$. При установленных параметрах моделирования в окне **System Time**, представленном на рис. 19, полученная временная эпюра выходного эффекта приводится на рис. 20, где видно, что математическое ожидание (**Mean**) $m_{\text{nn}} = 4,448 \cdot 10^{-5}$ В, а СКО (**Std Deviation**) $\sigma_{\text{nn}} = 3,096 \cdot 10^{-3}$ В.

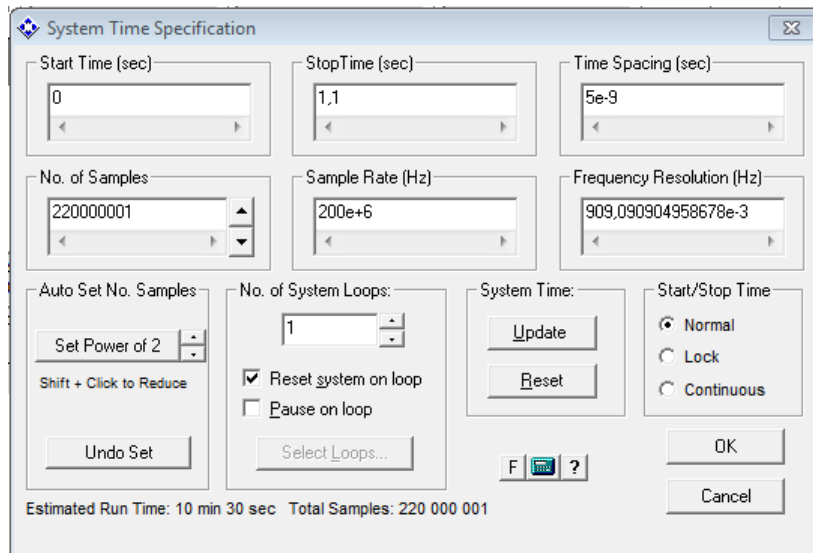


Рис. 19. Окно System Time

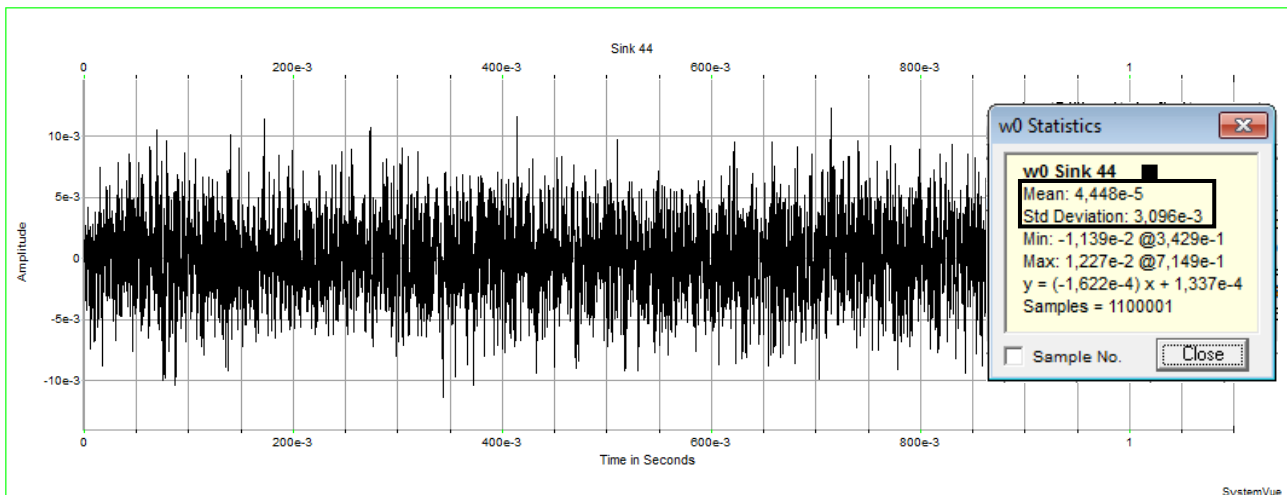


Рис. 20. Шумовой процесс на выходе ФУ19

Для получения математического ожидания выходного эффекта m_{sn} и его СКО σ_{sn} на выходе ФУ19, на вход устройства подаётся аддитивная смесь сигнала и шума $y(t)$. При установленной амплитуде ЛЧМ сигнала $U_{ms} = 1,4142$ В, будет обеспечиваться входное отношение сигнал/шум $g_{вх} \approx 1$. Полученная при этом временная эпюра сигнала на выходе ФУ19 изображена на рис. 21.

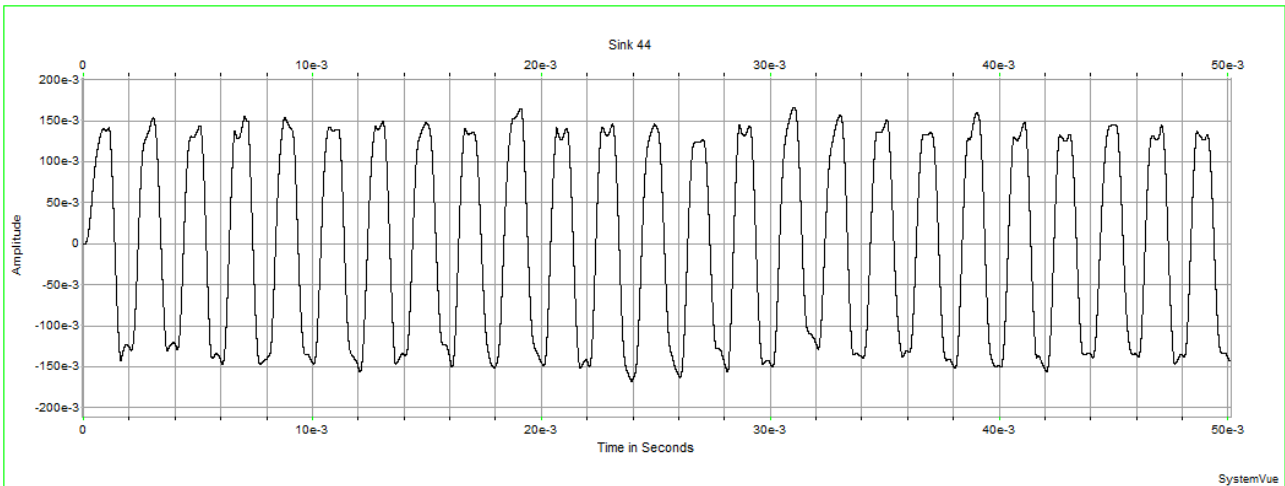


Рис. 21. Сигнал на выходе ФУ19

Из рис. 21 видно, что при входном отношении сигнал/шум $g_{\text{вх}} \approx 1$ сигнал на выходе ФУ19 хорошо различим, однако, по такой временной эпюре трудно оценивать требуемое математическое ожидание $m_{\text{сн}}$ и СКО $\sigma_{\text{сн}}$ выходного эффекта. Для получения необходимых статистических сведений, необходимо увеличить длительность импульса ЛЧМ сигнала до $\tau_{\text{и}} = 1$ с. Для сохранения шумовой полосы в обнаружителе, полоса пропускания УФ (ФУ13 и ФУ14) останется неизменной $\Delta f_{\text{уф}1,2} = 2$ кГц, несмотря на то, что изначально она задаётся из соотношения $\Delta f_{\text{уф}} = 2/\tau_{\text{и}}$.

А также необходимо сохранить неизменной величину частотного сдвига $f_{\text{сдв}} = 50$ кГц средних частот УФ $f_{\text{уф}1,2}$ относительно средней частоты ПФ (ФУ12) $f_{\text{пф}} = 5$ МГц. Для этого необходимо увеличить величину задержки в ФУ7, исходя из следующего соотношения:

$$\tau_{\text{и}} = \frac{f_{\text{сдв}}}{\beta} = \frac{f_{\text{сдв}} \tau_{\text{и}}}{\Delta f_{\text{д}}} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

После осуществления описанной выше настройки моделирующего стенда, полученная временная эпюра сигнала на выходе ФУ19 приводится на рис. 22, где видно, что при входном отношении сигнал/шум $g_{\text{вх}} \approx 1$ в выбранном сегменте сигнала математическое ожидание $m_{\text{сн}} = 151,4 \cdot 10^{-3}$ В, а СКО $\sigma_{\text{сн}} = 7,342 \cdot 10^{-3}$ В.

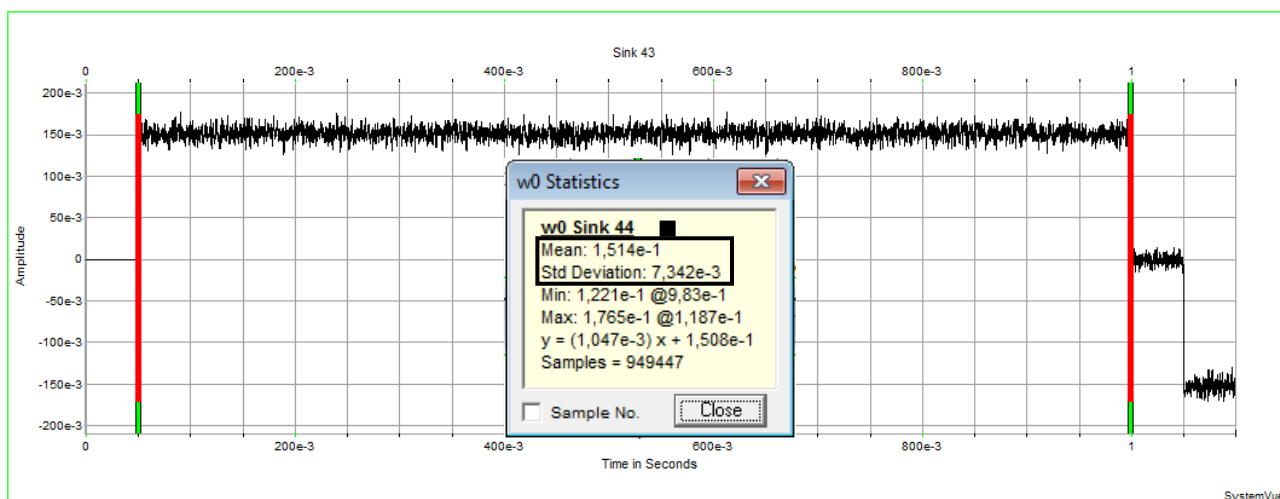


Рис. 22. Сигнал на выходе ФУ19

Таким образом, после получения всех необходимых статистических сведений, можно определить практическое значение выходного отношения сигнал/шум $g_{\text{ВЫХ}}$ при входном отношении сигнал/шум $g_{\text{ВХ}} \approx 1$, используя следующее выражение:

$$g_{\text{ВЫХ}} = \frac{m_{\text{sn}} - m_{\text{nn}}}{\sqrt{\sigma_{\text{sn}}^2 + \sigma_{\text{nn}}^2}} = 18,99.$$

Остальные практические значения выходного отношения сигнал/шум приводятся в табл. 1.

Таблица 1

$g_{\text{ВХ}}$	$U_{\text{ms}}, \text{В}$	$m_{\text{sn}}, \text{В}$	$\sigma_{\text{sn}}, \text{В}$	$g_{\text{ВЫХ}}$
1	1,4142	$151,4 \cdot 10^{-3}$	$7,342 \cdot 10^{-3}$	18,99
0,9	1,2727	$121,6 \cdot 10^{-3}$	$6,901 \cdot 10^{-3}$	16,07
0,8	1,1313	$95,45 \cdot 10^{-3}$	$6,182 \cdot 10^{-3}$	13,79
0,7	0,9899	$71,9 \cdot 10^{-3}$	$5,847 \cdot 10^{-3}$	10,86
0,6	0,8485	$51,97 \cdot 10^{-3}$	$5,402 \cdot 10^{-3}$	8,34
0,5	0,7071	$34,72 \cdot 10^{-3}$	$5,07 \cdot 10^{-3}$	5,83
0,4	0,5656	$20,58 \cdot 10^{-3}$	$4,741 \cdot 10^{-3}$	3,62
0,3	0,4242	$9,95 \cdot 10^{-3}$	$4,388 \cdot 10^{-3}$	1,84
0,2	0,2828	$3,05 \cdot 10^{-3}$	$3,959 \cdot 10^{-3}$	0,59
0,1	0,1414	$0,19 \cdot 10^{-3}$	$3,276 \cdot 10^{-3}$	0,03

Совмещённые результаты расчетов теоретического $g_{\text{вых1}}$ и практического $g_{\text{вых2}}$ выходного отношения сигнал/шум представлены на рис. 23.

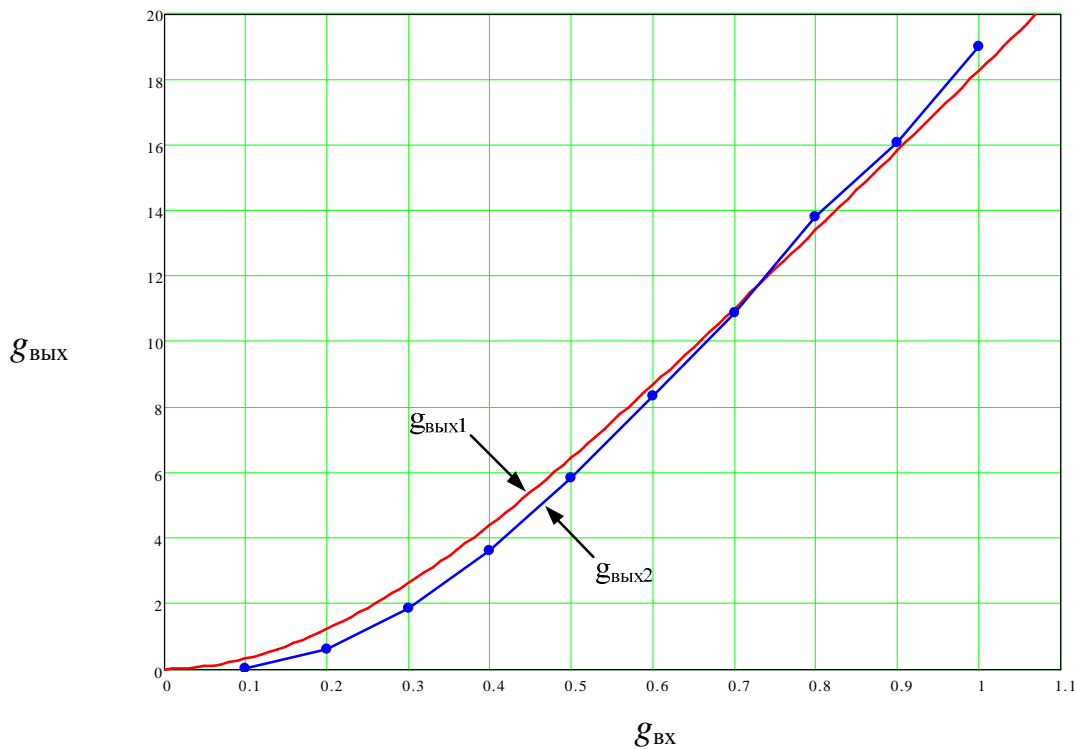


Рис. 23. Совмещённые зависимости $g_{\text{вых1,2}} = f(g_{\text{вх}})$

На рис. 23 видно, что полученная практическая зависимость $g_{\text{вых2}} = f(g_{\text{вх}})$ имеет незначительные отклонения от ожидаемой теоретической зависимости $g_{\text{вых1}} = f(g_{\text{вх}})$, следовательно, полученные результаты являются достоверными и корректно характеризуют свойства РСПИ.

Для исследования практической зависимости вероятности битовой ошибки от входного отношения сигнал/шум при заданной вероятности ложной тревоги $P_{\text{ош}} = f(g_{\text{вх}}, P_{\text{лт}})$, будет использоваться моделирующий стенд, представленный на рис. 24.

Методика оценки вероятности битовой ошибки $P_{\text{ош}}$ заключается в том, что вначале сигнал, с выхода ФУ19, подаётся на два пороговых устройства (ПУ) (ФУ22 и ФУ24) с установленным пороговым напряжением $U_{\text{пор}}$. С помощью первого ПУ анализируются положительные импульсы выходного сигнала, а во

втором ПУ, благодаря инвертору (ФУ21), анализируются отрицательные импульсы выходного сигнала. В обоих ПУ при превышении порогового напряжения $U_{\text{пор}}$ формируется импульс длительностью не менее $\tau = \tau_{\text{и}}/2 = 0,5$ мс для исключения многократного срабатывания ПУ, на интервале существования одного импульса выходного сигнала, из-за наличия в нём флюктуационной составляющей.

Далее сформированные импульсы от двух ПУ складываются в сумматоре (ФУ23) и подаются на 12-разрядный счётчик (ФУ26), который подсчитывает количество импульсов выходного сигнала превысивших пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$. В связи с тем, что счётчик (ФУ26) 12-разрядный, то максимально отображаемое им число $2^{12} - 1 = 4095$ (в двоичном коде 111111111111, т.е. на всех 12-ти выходах будет напряжение логической единицы), при дальнейшем счёте счётчик сбрасывается в 0 (в двоичном коде 000000000000, т. е. на всех 12-ти выходах будет напряжение логического нуля) и цикл счёта повторяется.

Чтобы преобразовать числа выдаваемые счётчиком (ФУ26) из двоичной системы счисления в десятичную, в функциональной схеме используется цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) (ФУ27).

Анализатор данных (ФУ29) используется для подсчёта количества полных циклов у счётчика (ФУ26). Устройство взятия выборок (ФУ28) необходимо, чтобы уменьшить количество отображаемых отсчётов анализатором данных (ФУ29), так как при увеличении времени моделирования, увеличивается количество моделируемых отсчётов, что может привести к переполнению памяти компьютера и возникновению ошибки.

С помощью анализатора конечного значения (ФУ30) в конце моделирования будет показано последнее значение общего числа импульсов на выходе ЦАП (ФУ27).

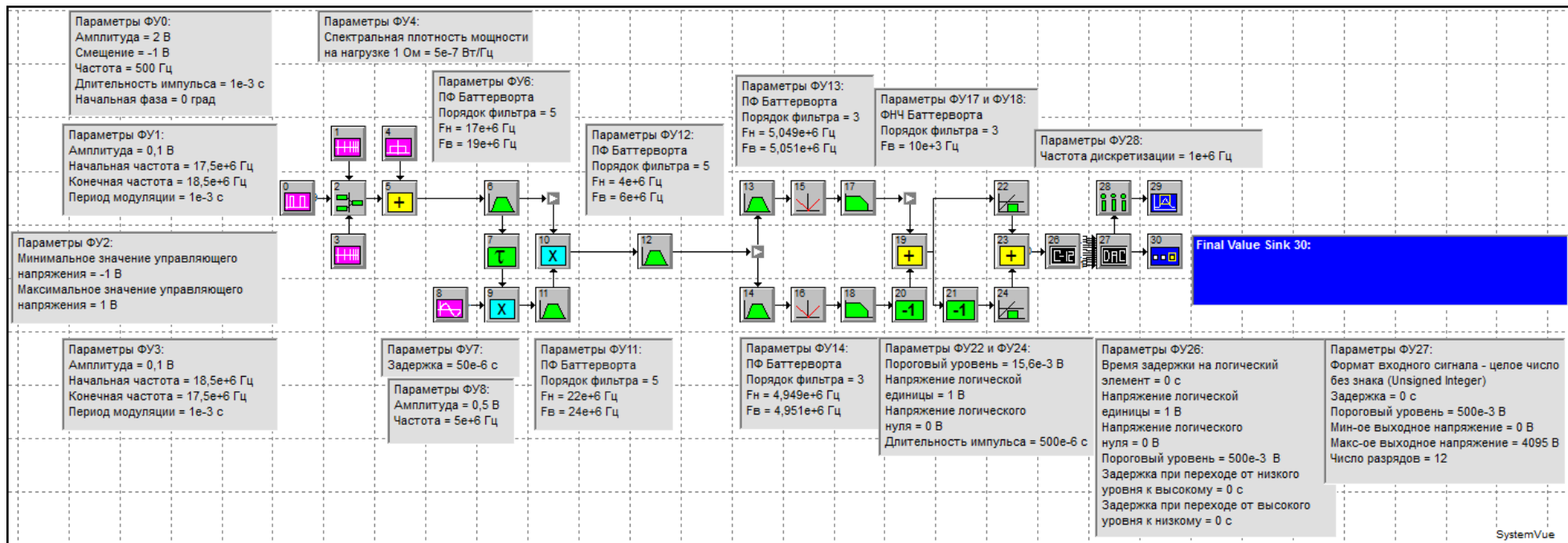


Рис. 24. Функциональная схема стенда для оценивания вероятности битовой ошибки

Для получения величины порогового напряжения $U_{\text{пор}}$ вначале необходимо провести моделирование и зафиксировать математическое ожидание $m_{\text{шн}}$ и СКО $\sigma_{\text{шн}}$ шума в выходном эффекте. Параметры моделирования, установленные в окне **System Time**, представлены на рис. 25, а полученная временная эпоэра шума на выходе ФУ19 приводится на рис. 26, где видно, что математическое ожидание $m_{\text{шн}} = 1,447 \cdot 10^{-5}$ В, а СКО $\sigma_{\text{шн}} = 3,132 \cdot 10^{-3}$ В.

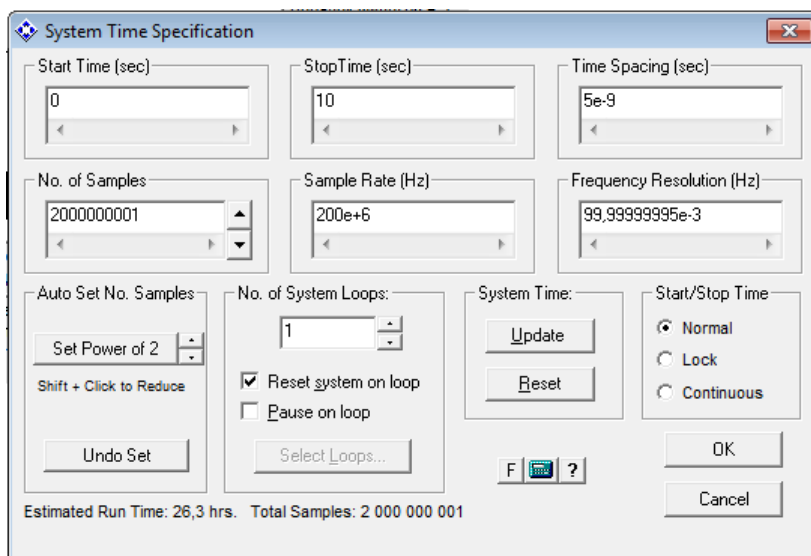


Рис. 25. Окно **System Time**

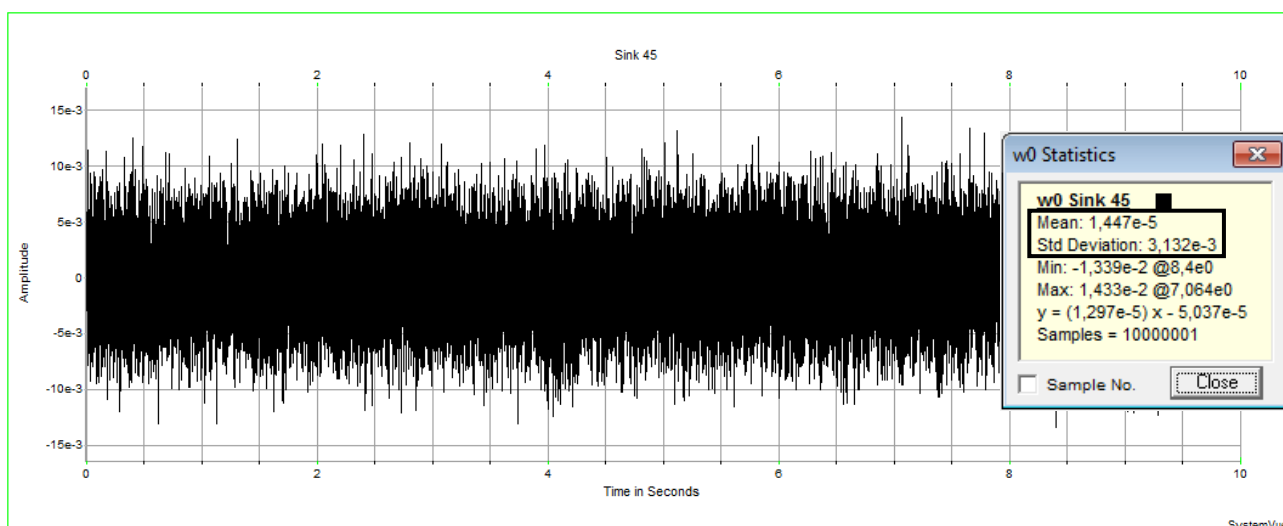


Рис. 26. Шумовой процесс на выходе ФУ19

Затем необходимо выбрать вероятность ложной тревоги $P_{лт}$, которая определяется через интеграл вероятности для нормального закона распределения случайного процесса:

$$P_{лт} = 1 - 2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{U_{пор}}{\sigma_{nn}}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy.$$

Полученные значения вероятности ложной тревоги $P_{лт}$ и порогового напряжения $U_{пор}$, которые будут использоваться в дальнейшем моделировании, представлены в таблице 2. На рис. 27 изображены границы выбранных пороговых напряжений $U_{пор} = \pm 3\sigma_{nn}; \pm 4\sigma_{nn}; \pm 5\sigma_{nn}$, где видно, что при увеличении величины порога количество ложных тревог уменьшается, однако, при этом увеличивается вероятность пропуска сигнала $P_{пр}$.

Таблица 2

$U_{пор}$	$P_{лт}$
$3\sigma_{nn} = 9,396 \cdot 10^{-3} \text{ В}$	$2,699 \cdot 10^{-3}$
$4\sigma_{nn} = 12,53 \cdot 10^{-3} \text{ В}$	$6,334 \cdot 10^{-5}$
$5\sigma_{nn} = 15,66 \cdot 10^{-3} \text{ В}$	$5,733 \cdot 10^{-7}$

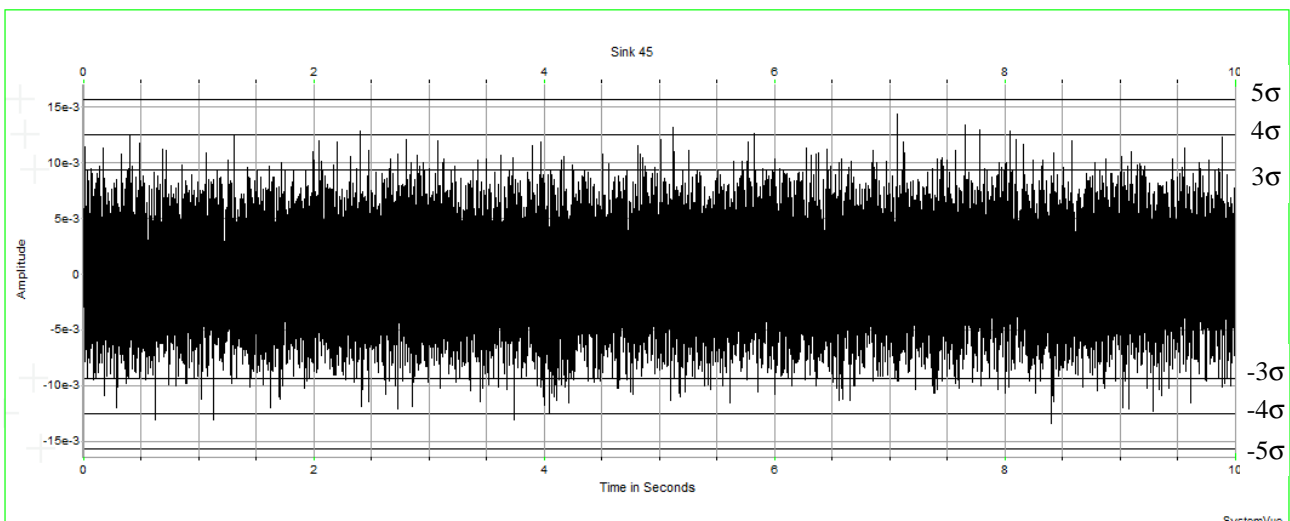


Рис. 27. Представление границ выбранных пороговых напряжений

Практическая вероятность битовой ошибки $P_{\text{ош}}$ определяется из следующего выражения:

$$P_{\text{ош}} = \frac{N - N_{\text{сч}}}{N},$$

где N – общее количество моделируемых ЛЧМ импульсов; $N_{\text{сч}}$ – количество подсчитанных импульсов превысивших пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$.

На рис. 28 представлены совмещенные временные эпюры сигнала на выходе ФУ19 и сформированных импульсов на выходе ФУ23, где видно, что при превышении порогового напряжения $U_{\text{пор}} = \pm 3\sigma_{\text{шн}}$ формируется импульс длительностью $\tau = 0,5$ мс.

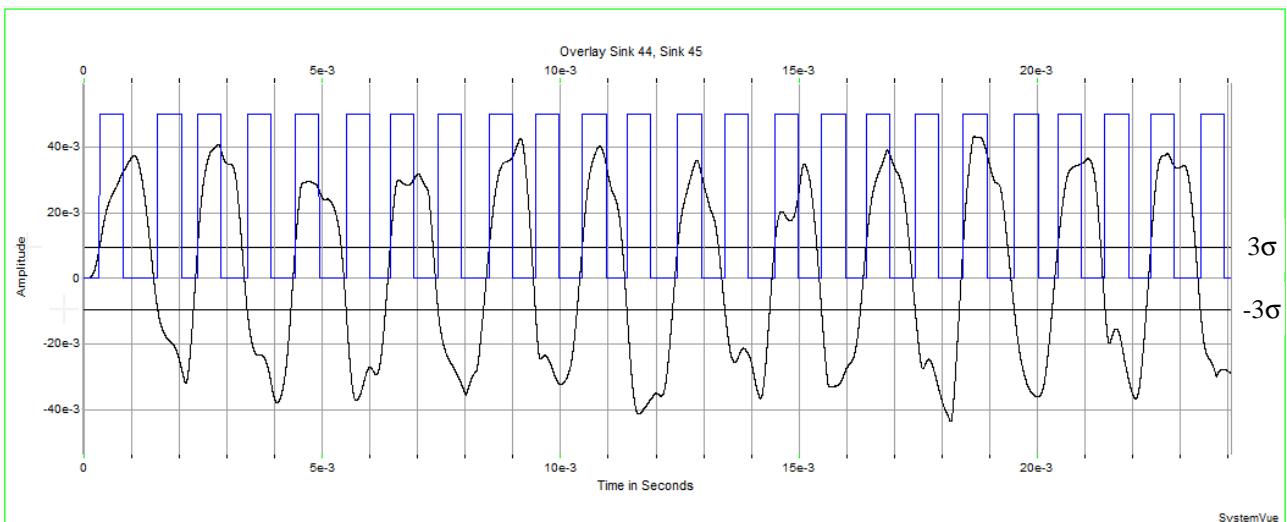


Рис. 28. Совмещенные эпюры выходного сигнала и импульсов от двух ПУ

Для определения вероятности битовой ошибки $P_{\text{ош}}$ параметры моделирования устанавливаются аналогично рис. 25, при этом будет промоделировано 10 000 ЛЧМ импульсов.

Полученные практические зависимости вероятности битовой ошибки от входного отношения сигнал/шум $P_{\text{ош}} = f(g_{\text{вх}}, P_{\text{лт}})$ приводятся на рис. 29 вместе с теоретической зависимостью вероятности битовой ошибки от входного отношения сигнал/шум $P_{\text{ош}} = f(g_{\text{вх}}, g_{\text{вых}})$.

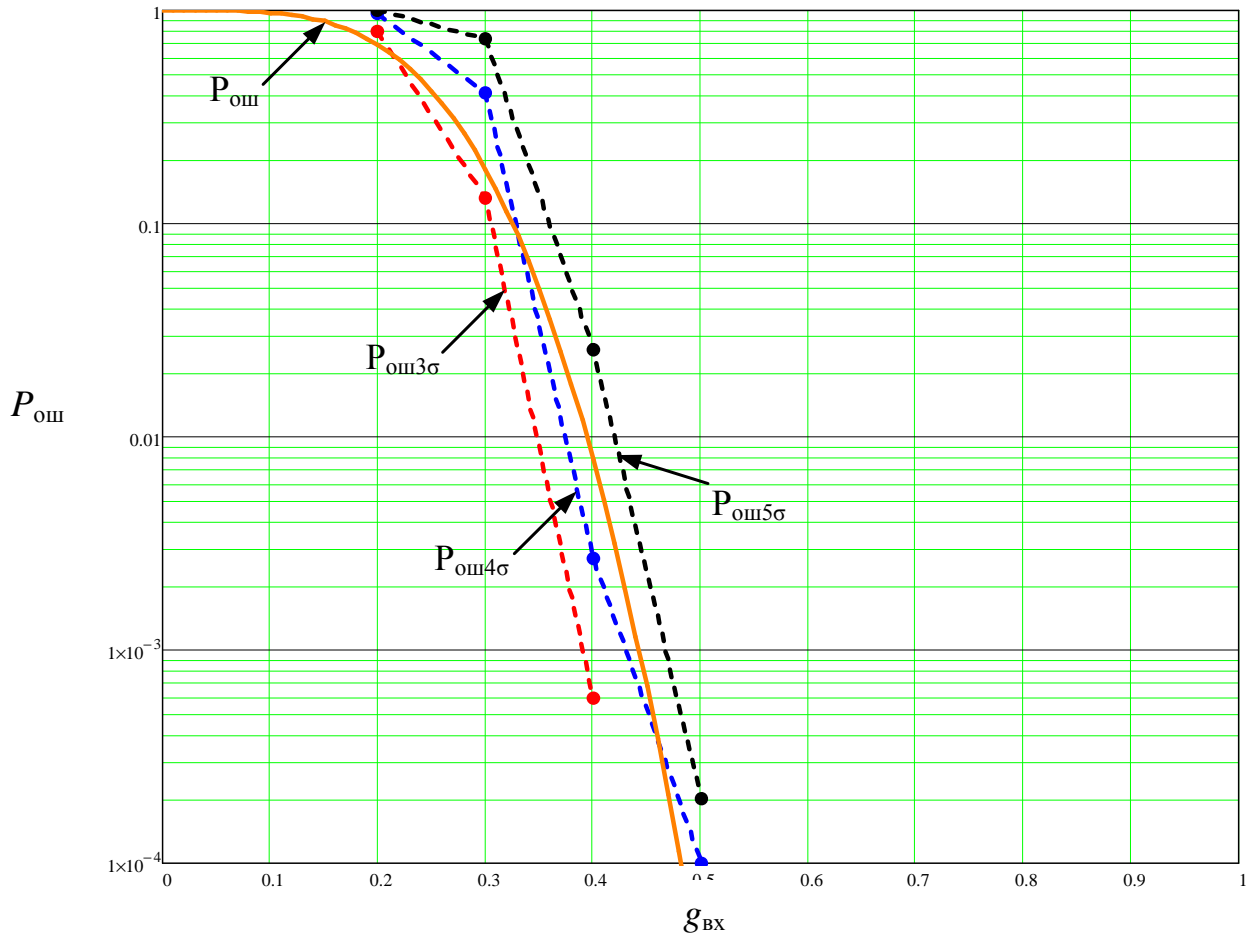


Рис. 29. Совмещённые зависимости вероятности битовой ошибки

Как видно из рис. 29, полученные практические зависимости вероятности битовой ошибки от входного отношения сигнал/шум при разных значениях вероятности ложной тревоги $P_{\text{ош}} = f(g_{\text{вх}}, P_{\text{лт}})$ имеют допустимые отклонения от ожидаемой теоретической зависимости вероятности битовой ошибки от входного отношения сигнал/шум $P_{\text{ош}} = f(g_{\text{вх}}, g_{\text{вых}})$, следовательно, полученные результаты достоверно описывают свойства исследуемой РСПИ.

Таким образом, проведённые исследования показывают, что СС обладает такими достоинствами как скрытность, инвариантность к значению частоты сигнала и синтезатора частот, отсутствие каналов синхронизации по несущей и тактовой частоте, возможность адаптивной перестройки и повышенной помехозащищенности. Полученные результаты могут использоваться при разработке перспективных средств связи как военного, так и гражданского применения.

3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

«АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РСПИ С ПОВЫШЕННОЙ СКРЫТНОСТЬЮ»

3.1. Техническое задание

Произвести анализ РСПИ с повышенной скрытностью при использовании ЛЧМ сигналов и осуществить оптимизацию таких параметров, как реальная чувствительность P_p (Вт); параметры ЛЧМ сигнала (ширина спектра Δf_s (Гц), база сигнала B); выходное отношение сигнал/помеха по напряжению g ; скорость передачи информации R (бит/с); высоты подъёма передающей и приёмной антенны h_1 (м) и h_2 (м); коэффициент усиления приёмной антенны $G_{пр}$ (дБ); ширина рабочего частотного диапазона приёмника Δf_n (Гц).

3.2. Исходные данные к контрольной работе

1. Энергетический потенциал передающего устройства $P_n G_n$ (дБВт):
1.1: -30 ; 1.2: -20 ; 1.3: -10 .
2. Рабочая длина волны излучения λ (м):
2.1: $3 \cdot 10^{-2}$; 2.2: $3,5 \cdot 10^{-2}$; 2.3: $2,8 \cdot 10^{-2}$.
3. Дальность действия РСПИ r (м):
3.1: 10^3 ; 3.2: $3 \cdot 10^3$; 3.3: $5 \cdot 10^3$.
4. Вероятность ошибочных решений $P_{ош}$:
4.1: 10^{-7} ; 4.2: 10^{-6} ; 4.3: 10^{-5} .
5. Отношение сигнал/помеха по мощности на входе приёмной части $g_{вх}^2$ (дБ):
5.1: -20 ; 5.2: -15 ; 5.3: -10 .

3.3. Общие исходные данные

3.3.1. Сигнал представляет собой последовательность ЛЧМ импульсов с чередующимися знаками скорости перестройки частоты.

3.3.2. Помеха представляет собой гауссовый стационарный процесс.

3.4. Рекомендации к выполнению контрольной работы

Для выполнения анализа следует использовать материалы из 1-го раздела данного указания, а также из работ [3, 5].

3.5. Варианты заданий контрольной работы

Варианты контрольной работы представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ варианта	Исходные данные	№ варианта	Исходные данные
1	1.1 2.1 3.2 4.1 5.3	17	1.3 2.2 3.1 4.2 5.2
2	1.1 2.2 3.2 4.1 5.3	18	1.3 2.3 3.1 4.2 5.2
3	1.1 2.3 3.3 4.1 5.3	19	1.3 2.1 3.2 4.2 5.3
4	1.2 2.1 3.3 4.1 5.3	20	1.1 2.2 3.2 4.2 5.3
5	1.2 2.2 3.1 4.2 5.3	21	1.1 2.3 3.3 4.3 5.3
6	1.2 2.3 3.1 4.2 5.3	22	1.1 2.1 3.3 4.3 5.3
7	1.3 2.1 3.2 4.2 5.1	23	1.2 2.2 3.1 4.3 5.3
8	1.3 2.2 3.2 4.2 5.1	24	1.2 2.3 3.1 4.3 5.3
9	1.3 2.3 3.3 4.3 5.1	25	1.2 2.1 3.2 4.1 5.1
10	1.1 2.1 3.3 4.3 5.1	26	1.3 2.2 3.2 4.1 5.1
11	1.1 2.2 3.1 4.3 5.1	27	1.3 2.3 3.3 4.1 5.1
12	1.1 2.3 3.1 4.3 5.1	28	1.3 2.1 3.3 4.1 5.1
13	1.2 2.1 3.2 4.1 5.2	29	1.1 2.2 3.1 4.2 5.1
14	1.2 2.2 3.2 4.1 5.2	30	1.1 2.3 3.1 4.2 5.1
15	1.2 2.3 3.3 4.1 5.2	31	1.1 2.1 3.2 4.2 5.2
16	1.3 2.1 3.3 4.1 5.2	32	1.2 2.2 3.2 4.2 5.2

4. ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторная работа №1

Моделирование передающего устройства радиосистемы передачи информации с повышенной скрытностью.

Цель работы

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

- периодическая пачка импульсов с положительным или отрицательным знаком скорости перестройки частоты;
- пачка импульсов с чередованием знаков скорости перестройки частоты а) в виде меандровой последовательности; б) в виде псевдослучайной последовательности.

Содержание лабораторной работы

В соответствии с заданным номером варианта следует:

- а) составить функциональную схему и произвести установку параметров всех функциональных узлов;
- б) осуществить моделирование временных, спектральных и корреляционных характеристик ЛЧМ сигналов и зафиксировать их на графиках.

При выполнении этой лабораторной работы используется методический материал, изложенный в подразд. 2 данных указаний, а также в работе [6].

Лабораторная работа №2

Моделирование приёмного устройства радиосистемы передачи информации с повышенной скрытностью.

Цель работы

Целью работы является изучение методов моделирования функциональной схемы приёмного устройства РСПИ, и прохождение ЛЧМ сигналов через его функциональные узлы с фиксацией временных и спектральных характеристик.

Содержание лабораторной работы

В соответствии с заданным номером варианта следует:

- а) составить функциональную схему и произвести установку параметров всех функциональных узлов;

б) осуществить моделирование АЧХ и ФЧХ всех линейных функциональных узлов и зафиксировать их на графиках;

в) осуществить моделирование прохождения ЛЧМ сигналов через ФУ и зафиксировать на графиках их временное и спектральное представление.

При выполнении этой лабораторной работы используется методический материал, изложенный в подразд. 2 данных указаний, а также в работе [6].

Лабораторная работа №3

Моделирование радиосистемы передачи информации с повышенной скрытностью.

Цель работы

Целью работы является исследование характеристик помехоустойчивости РСПИ в виде:

а) зависимости выходного отношения сигнал/помеха по напряжению g к входному отношению сигнал/помеха по напряжению $g_{вх}$;

б) зависимость вероятности ошибочных решений $P_{ош}$ от входного отношения сигнал/помеха по напряжению $g_{вх}$.

Содержание лабораторной работы

В соответствии с заданным номером варианта следует:

а) составить функциональную схему и произвести установку параметров всех функциональных узлов;

б) осуществить набор сеансов моделирования при подаче на вход приёмной части РСПИ аддитивной смеси сигнала и помехи при разных значениях $g_{вх}$ с фиксацией соответствующих g и построить графическую зависимость $g = f(g_{вх})$;

в) осуществить набор сеансов моделирования, аналогичных вышеприведённому, произвести фиксацию $P_{ош}$ и построить графическую зависимость $P_{ош} = f(g_{вх})$.

При выполнении этой лабораторной работы используется методический материал, изложенный в подразд. 2 данных указаний, а также в работе [6].

Варианты исходных данных к лабораторным работам №1–3

I.1. Средняя частота ЛЧМ сигнала f_0 (МГц):

$$I.1.1: f_0 = 18,5; \quad I.1.2: f_0 = 19; \quad I.1.3: f_0 = 19,5.$$

I.2. Девиация частоты ЛЧМ сигнала Δf_d (МГц):

$$I.2.1: \Delta f_d = 0,8; \quad I.2.2: \Delta f_d = 1; \quad I.2.3: \Delta f_d = 1,2.$$

I.3. Длительность ЛЧМ импульсов $\tau_{и}$ (мкс):

$$I.3.1: \tau_{и} = 8 \cdot 10^2; \quad I.3.2: \tau_{и} = 10^3; \quad I.3.3: \tau_{и} = 1,2 \cdot 10^3.$$

I.4. Длительность сеанса излучения ЛЧМ сигналов T_c (мс):

$$I.4.1: T_c = 15; \quad I.4.2: T_c = 18; \quad I.4.3: T_c = 20.$$

I.5. Вид закона формирования импульсной последовательности ЛЧМ сигналов:

I.5.1: меандр; I.5.2: закон Голда.

II.1. Средняя частота УПЧ ЛТП ФУ6 $f_{лпп} = f_0$ (МГц).

II.2. Полоса пропускания полосовых фильтров ФУ6, ФУ11, ФУ12

$$\Delta f_{\phi} = \Delta f_d \text{ (МГц)}.$$

II.3. Величина временного сдвига, вносимого линией задержки ФУ7

$$\tau_{лз} = 0,5 \text{ (мкс)}.$$

II.4. Частота гетеродина ФУ8 $f_r = 5$ МГц.

II.5. Средняя частота полосового фильтра ФУ11 $f_{\phi 2} = (f_0 + 5)$ (МГц).

II.6. Средняя частота полосового фильтра ФУ12 $f_{\phi 3} = 5$ (МГц).

II.7. Полоса пропускания узкополосных фильтров ФУ13 и ФУ14

$$\Delta f_{у\phi} = 2/\tau_{и} \text{ (Гц)}.$$

II.8. Средняя частота узкополосного фильтра ФУ13 $\Delta f_{у\phi 1} = (5 - 0,5\Delta f_d)$ (МГц).

II.9. Средняя частота узкополосного фильтра ФУ14 $\Delta f_{у\phi 2} = (5 + 0,5\Delta f_d)$ (МГц).

II.10. Верхняя граничная частота ФНЧ ФУ17 и ФУ18 $f_b = 10^4$ (Гц).

III.1. Вероятность ошибочных решений $P_{ош} = 10^{-2}$.

Варианты лабораторных работ №1–3 представлены в табл. 4.

Таблица 4

№ варианта	Исходные данные						
1	I.1.1	I.2.1	I.3.1	I.4.1	I.5.1	(II.1 – II.10)	III.1
2	I.1.2	I.2.2	I.3.2	I.4.2	I.5.2	(II.1 – II.10)	III.1
3	I.1.3	I.2.3	I.3.3	I.4.3	I.5.3	(II.1 – II.10)	III.1
4	I.1.2	I.2.1	I.3.1	I.4.1	I.5.1	(II.1 – II.10)	III.1
5	I.1.2	I.2.2	I.3.1	I.4.1	I.5.2	(II.1 – II.10)	III.1
6	I.1.2	I.2.2	I.3.2	I.4.1	I.5.1	(II.1 – II.10)	III.1
7	I.1.1	I.2.1	I.3.1	I.4.1	I.5.1	(II.1 – II.10)	III.1
8	I.1.1	I.2.1	I.3.2	I.4.1	I.5.2	(II.1 – II.10)	III.1
9	I.1.1	I.2.1	I.3.2	I.4.2	I.5.1	(II.1 – II.10)	III.1
10	I.1.1	I.2.3	I.3.2	I.4.3	I.5.3	(II.1 – II.10)	III.1
11	I.1.3	I.2.1	I.3.1	I.4.2	I.5.1	(II.1 – II.10)	III.1
12	I.1.3	I.2.2	I.3.1	I.4.3	I.5.2	(II.1 – II.10)	III.1
13	I.1.3	I.2.1	I.3.3	I.4.1	I.5.3	(II.1 – II.10)	III.1
14	I.1.3	I.2.3	I.3.3	I.4.2	I.5.2	(II.1 – II.10)	III.1
15	I.1.3	I.2.2	I.3.2	I.4.3	I.5.3	(II.1 – II.10)	III.1

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ипатов В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. – М.: Техносфера, 2007. – 488 с.
2. Сердюков П.Н., Бельчиков А.В. Защищённые радиосистемы цифровой передачи информации. – М.: АСТ, 2006. – 403 с.
3. Алёхин В.А., Горбенко А.П. Проектирование телекоммуникационных систем. Часть 1. Дискретный канал передачи аналоговых сообщений. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 124 с.
4. Дятлов А.П., Дятлов П.А. Моделирование формирователей видео- и радиосигналов. Руководство к циклу лабораторных работ. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 39 с.

5. Дятлов А.П., Дятлов П.А. Анализ и оптимизация основных характеристик радиосистем обнаружения. Методическое указание к выполнению курсовой работы. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 48 с.
6. Дятлов А.П., Дятлов П.А. Проектирование радиосистем передачи информации с повышенными скрытностью и помехозащищённостью: Учебное пособие по выполнению курсового проектирования. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013. – 39 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Краткие теоретические сведения о скрытных РСПИ	4
2. Описание моделирующего стенда.....	9
3. Контрольная работа «Анализ основных параметров РСПИ с повышенной скрытностью».....	30
3.1. Техническое задание	30
3.2. Исходные данные к контрольной работе	30
3.3. Общие исходные данные	30
3.4. Рекомендации к выполнению контрольной работы	31
3.5. Варианты заданий контрольной работы.....	31
4. Цикл лабораторных работ	31
Лабораторная работа №1	31
Цель работы	32
Содержание лабораторной работы	32
Лабораторная работа №2.....	32
Цель работы	32
Содержание лабораторной работы	32
Лабораторная работа №3	33
Цель работы	33
Содержание лабораторной работы	33
Варианты исходных данных к лабораторным работам №1–3	34
Библиографический список	35

Дятлов Анатолий Павлович
Дятлов Павел Анатольевич
Шостак Александр Николаевич

**АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОСИСТЕМ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПОВЫШЕННОЙ
СКРЫТНОСТЬЮ**

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям

Редактор

Селезнёва Н. И.

Корректор

Селезнёва Н. И.

Подписано в печать

Заказ №

Тираж 75 экз.

Формат 60×84¹/₁₆. Печ. л. — 2,5. Уч.-изд. л. — 2,3.

Издательство Южного федерального университета
344091, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1
Тел.: (8634) 247–80–51

Отпечатано в Секторе обеспечения полиграфической продукцией кампуса
в г. Таганроге отдела полиграфической, корпоративной
и сувенирной продукции ИПК КИБИ МЕДИАЦЕНТРА ЮФУ
ГСП 17А, Таганрог, 28, (8634) 37–17–17, 371655