

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1. При выполнении каждого пункта задания лабораторной работы обязательна запись параметров сигналов как на входе, так и на выходе исследуемой схемы.

2. Все полученные данные, в том числе и осциллограммы, должны быть представлены в единицах физических величин или снабжены масштабами (В, А, Гц, с).

3. Каждый пункт эксперимента должен сопровождаться комментариями или выводами.

4. Отчет должен содержать:

а) титульный лист, на котором указывается название института, наименование лабораторной работы, фамилия студента, номер группы, дата;

б) пояснительную записку, в которую включаются по каждому пункту задания: название эксперимента, блок-схемы, таблицы снятых данных, графики, рисунки осциллограмм и спектрограмм, выводы или комментарии к полученным результатам.

5. При оформлении отчета рекомендуется использовать обозначения, аналогичные приведенным в описании работы.

### Работа № I. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ. НОРМАЛИЗАЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы. Экспериментальное исследование основных статистических характеристик стационарных случайных процессов: одномерной плотности вероятностей, дисперсии, корреляционной функции, спектральной плотности мощности. Изучение явления "нормализации" в линейных цепях.

### Вводные замечания

В лабораторной работе исследуются характеристики следующих случайных процессов: виде шума  $\{\xi(t)\}$ , радишума  $\{\eta(t)\}$ , гармонического колебания с неизвестной начальной фазой  $\{\nu(t)\}$  и хаотической импульсной последовательности  $\{\zeta(t)\}$ .

Процессы  $\{\xi(t)\}$  и  $\{\eta(t)\}$  формируются из гауссовского шума  $\{n(t)\}$ , имеющего равномерную спектральную плотность мощности  $S_n(f)$  в широкой полосе частот, пропусканием его через соответствующие фильтры. При пропускании шума  $\{n(t)\}$  через фильтр нижних частот (ФНЧ) на выходе последнего будет наблюдаться виде шум  $\{\xi(t)\}$ , а при прохождении шума  $\{n(t)\}$  через резонансный фильтр (РФ) получается радишум  $\{\eta(t)\}$ . По сравнению с процессами  $\{\xi(t)\}$  и  $\{\eta(t)\}$  случайный процесс  $\{n(t)\}$  можно считать белым шумом [1].

Виде шум  $\{\xi(t)\}$  и радишум  $\{\eta(t)\}$ , исследуемые в работе, являются гауссовскими стационарными случайными процессами, имеющими одномерные плотности вероятностей  $p_\xi(u)$  и  $p_\eta(u)$  вида

$$p(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \frac{u^2}{\sigma^2}} \quad (1)$$

где  $\sigma^2$  - дисперсия;  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение; средние значения обоих процессов равны нулю.

Плотность вероятностей  $p(u)$  исследуемых в работе процессов определяется с помощью измерителя плотности вероятностей (ИПВ), входящего в состав лабораторного макета.

Дисперсия  $\sigma^2$  процессов  $\{\xi(t)\}$  и  $\{\eta(t)\}$  измеряется приближенно по осциллограммам реализаций этих процессов. При этом используется правило "3 $\sigma$ ": для гауссовского случайного процесса с нулевым средним вероятность

$$P\{-3\sigma \leq u \leq 3\sigma\} = 0,997 \approx 1. \quad (2)$$

Согласно этому правилу, можно считать, что полный размах шума по вертикали на экране осциллографа составляет примерно  $6\sigma$ .

Корреляционные функции  $R_\xi(\tau)$  и  $R_\eta(\tau)$  процессов  $\{\xi(t)\}$  и  $\{\eta(t)\}$  определяются по их спектрам на основании соотношений Ванера - Хинчина [1]:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau; \quad R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{j2\pi f\tau} df, \quad (3)$$

здесь  $S(f)$  - спектральная плотность мощности случайного процесса.

С помощью анализатора спектра можно определить спектральную плотность  $S(f)$  исследуемого процесса, а затем, используя соотношения (3), найти корреляционную функцию  $R(\tau)$ .

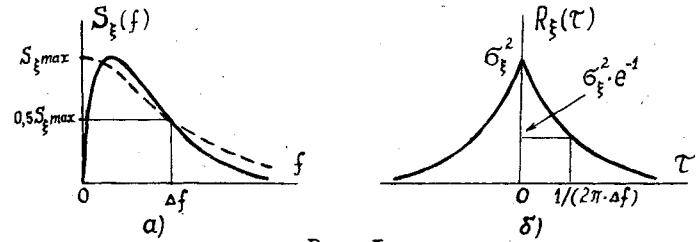


Рис. 1

На рис. 1,а изображен примерный вид спектральной плотности мощности  $S_\xi(f)$  при  $f > 0$  процесса  $\{\xi(t)\}$ . С целью экономии времени при определении корреляционной функции  $R_\xi(\tau)$  допускается аппроксимация реальной  $S_\xi(f)$  идеализированной кривой  $S_{уд}(f)$  (пунктирная линия на рис. 1,а), форма которой

$$S_{уд}(f) = \frac{2\sigma_\xi^2}{\pi \Delta f} \frac{1}{1 + (f/\Delta f)^2}, \quad f > 0, \quad (4)$$

где  $\sigma_\xi^2$  - дисперсия шума;  $\Delta f$  - ширина спектра по уровню  $0,5S_{\xi max}$ .

В этом случае корреляционная функция  $R_\xi(\tau)$ , полученная по формуле (3), имеет вид

$$R_\xi(\tau) = \sigma_\xi^2 e^{-\alpha_\xi |\tau|}, \quad (5)$$

где  $\alpha_\xi = 2\pi\Delta f$ .

Для построения  $R_\xi(\tau)$  по формуле (5) необходимо знать дисперсию  $\sigma_\xi^2$  и ширину спектра  $\Delta f$ . Дисперсию  $\sigma_\xi^2$  можно измерить приближенно по осциллографу, используя правило "3 $\sigma$ ", а ширину спектра  $\Delta f$  - по анализатору спектра. Однако следует заметить, что на экране анализатора спектра наблюдается не спектральная плотность мощности  $S_\xi(f)$  случайного процесса, а спектральная плотность амплитуд  $G_\xi(f)$  отдельной реализации процесса. Поэтому ширину спектра процесса можно оценить по ширине амплитудного спектра реализации на уровне  $0,7\sigma_\xi max$ , которая приблизительно соответствует  $\Delta f$  по уровню  $0,5S_{\xi max}$  спектральной плотности мощности. График  $R_\xi(\tau)$  изображен на рис. 1,б.

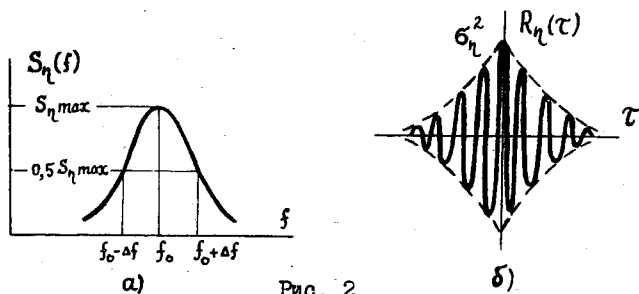


Рис. 2

Аналогично спектральная плотность  $S_p(f)$  радишума аппроксимируется кривой

$$S_p(f) = \frac{2G_p^2}{\pi \Delta f} \frac{1}{1 + \left(\frac{f - f_0}{\Delta f}\right)^2}, \quad f > 0, \quad (6)$$

где  $f_0$  - центральная частота;  $\Delta f$  - полуширина спектра по уровню  $0,5 S_{pmax}$  (рис. 2, а). Корреляционная функция  $R_p(\tau)$ , полученная по формуле (3), в этом случае имеет вид

$$R_p(\tau) = G_p^2 e^{-\alpha_p |\tau|} \cos(2\pi f_0 \tau), \quad (7)$$

где  $\alpha_p = 2\pi \Delta f$  (рис. 2, б).

Для построения  $R_p(\tau)$  по формуле (7), как и в предыдущем случае, следует измерить дисперсию  $G_p^2$  с помощью осциллографа, а центральную частоту  $f_0$  и ширину спектра  $2\Delta f$  - по анализатору спектра.

В лабораторной работе с помощью ИПВ определяются плотности вероятностей гармонического колебания с неизвестной начальной фазой  $\{v(t)\}$  и хаотической импульсной последовательности (ХИП)  $\{z(t)\}$ .

Теоретическая кривая плотности вероятностей  $p_p(u)$  имеет вид

$$p_p(u) = \frac{1}{\pi \sqrt{A_0^2 - u^2}}, \quad (8)$$

где  $A_0$  - амплитуда гармонического колебания  $\{v(t)\}$ .

Случайный процесс  $\{z(t)\}$ , используемый в работе, представляет собой последовательность коротких прямоугольных импульсов, имеющих одинаковые амплитуды  $E$ , но различные (случайные от им-

пульса к импульсу) длительности и паузы между импульсами. Поэтому плотность вероятностей  $p_z(u)$  имеет вид

$$p_z(u) = P_1 \delta(u) + P_2 \delta(u-E), \quad (9)$$

где  $P_2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_i \tau_i$ ;  $\tau_i$  - длительность  $i$ -го импульса последовательности;  $T$  - отрезок времени наблюдения;  $P_1 = 1 - P_2$ .

Графики  $p_p(u)$  и  $p_z(u)$  приведены на рис. 3.

В работе исследуется явление "нормализации" негавссовского случайного процесса - ХИП - при прохождении через ФНЧ или РФ. При прохождении ХИП через фильтр происходит изменение плотности вероятностей, в пределе наблюдается

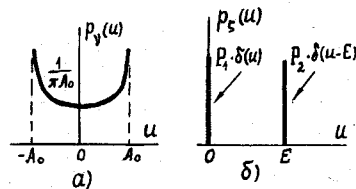


Рис. 3

"нормализация" процесса. Действительно, поскольку средняя длительность паузы между импульсами много меньше длительности отклика на отдельный импульс, на выходе происходит многократное перекрытие большого числа откликов. В результате, на основании центральной предельной теоремы теории вероятностей, процесс на выходе фильтра можно считать гауссовским.

### Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя варианты задания. Перечень и содержание заданий приведены ниже.
2. Перед тем как приступить к выполнению задания, ознакомиться с общими указаниями, вводными замечаниями, описанием лабораторного стенда.

### Перечень и содержание заданий

1. Наблюдение реализаций случайных процессов. Провести наблюдение и зарисовать типичные реализации случайных процессов:
  - а) виде шума  $\{\xi_i(t)\}$  - на выходе ФНЧ с узкой полосой пропускания;

\* Под этим термином понимается приближение к гауссовскому (нормальному) процессу.

б) видеосу́ма  $\{\xi_2(t)\}$  - на выходе ФНЧ с широкой полосой пропускания;

в) радиосу́ма  $\{\eta_1(t)\}$  - на выходе РФ с узкой полосой пропускания;

г) радиосу́ма  $\{\eta_2(t)\}$  - на выходе РФ с широкой полосой пропускания.

При выполнении задания руководствоваться пп. 1 и 2 методических указаний.

Установить примерно одинаковую мощность процессов во всех четырех случаях.

Словесно описать отмеченные Вами различия реализаций исследуемых процессов.

2. Измерение плотности вероятностей случайных процессов.

Снять кривые плотности вероятностей следующих случайных процессов:

а) видеосу́ма  $\{\xi_1(t)\}$  - на выходе ФНЧ с узкой полосой пропускания;

б) видеосу́ма  $\{\xi_2(t)\}$  - на выходе ФНЧ с широкой полосой пропускания;

в) радиосу́ма  $\{\eta_1(t)\}$  - на выходе РФ с узкой полосой пропускания;

г) радиосу́ма  $\{\eta_2(t)\}$  - на выходе РФ с широкой полосой пропускания;

д) гармонического колебания с неизвестной начальной фазой  $\{\nu(t)\}$ ;

е) суммы гармонического колебания  $\{\nu(t)\}$  и гауссовского узкополосного шума  $\{\eta(t)\}$ ;

ж) хаотической импульсной последовательности  $\{\zeta(t)\}$ .

По указанию преподавателя выбрать 3 - 4 из перечисленных процессов. При выполнении руководствоваться пп. 1 и 3 методических указаний. Снимать кривые  $b(u)$ , установив по осциллографу примерно одинаковую ширину шумовых дорожек для всех случаев. Записать значение установленной ширины шумовой дорожки, на построенных кривых  $b(u)$  отметить этот интервал. Словесно объяснить замеченное различие (или сходство) полученных экспериментальных кривых. От чего зависит тот или иной ход кривых?

Построить теоретические кривые плотности вероятностей тех процессов, которые изучались экспериментально. При построении теоретических кривых руководствоваться формулами (1), (8), (9) и

учитывать параметры случайных процессов (для гармонического колебания и ХИП - амплитудные значения, для гауссовских процессов - значения  $\sigma$ ).

3. Исследование спектральных и корреляционных характеристик случайных процессов:

а) видеосу́м  $\{\xi_1(t)\}$  и  $\{\xi_2(t)\}$  - с узкой и широкой полосой спектров соответственно;

б) радиосу́м  $\{\eta_1(t)\}$  и  $\{\eta_2(t)\}$  - с узкой и широкой полосой спектров соответственно;

в) суммы гармонического колебания  $\{\nu(t)\}$  и гауссовского узкополосного шума  $\{\eta(t)\}$ .

Выполняется вариант а, б или в по указанию преподавателя.

При этом устанавливается одинаковая мощность шумов. Руководствуясь пп. 1, 2 и 4, а методических указаний, зарисовать две типичные реализации и соответствующие им спектры (узкий и широкий). В осциллограммах и спектрограммах должны быть указаны масштабы (время и частота).

Расчитать и построить соответствующие спектрам исследуемых процессов корреляционные функции, руководствуясь формулой (5) или (7). Сравнить интервалы корреляции с соответствующими масштабами осциллограмм. Сделать выводы.

4. Исследование явления "нормализации":

а) при прохождении ХИП через ФНЧ с узкой и широкой полосой пропускания;

б) при прохождении ХИП через резонансный фильтр с узкой и широкой полосой пропускания.

Выполняется вариант а или б по указанию преподавателя.

При выполнении задания руководствоваться п. 5 методических указаний.

## Работа № 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы. Исследование преобразования статистических характеристик случайного процесса в нелинейных цепях.

Вводные замечания

Широкий класс радиотехнических цепей можно представить в виде последовательно включенных безынерционного нелинейного четырехполюсника (БНЧ) и линейного инерционного четырехполюсника.

БНЧ - четырехполюсник, в котором мгновенное значение выходного сигнала  $y(t)$  определяется значением входного сигнала  $x(t)$  в тот же момент времени как  $y = f(x)$ , где  $f(x)$  - характеристика БНЧ. При прохождении случайного процесса через БНЧ происходит изменение его статистических характеристик, в частности изменяются плотность вероятностей и спектральная плотность мощности процесса. Исследование изменения именно этих характеристик при прохождении процессов через БНЧ проводится в работе.

Плотности вероятностей  $p_x(u)$  и  $p_y(u)$  (на входе и на выходе БНЧ соответственно) связаны следующими соотношениями [1]:

$$p(y) = \frac{p(x)}{|dy/dx|} \Big|_{x=\varphi(y)} \quad (10)$$

при однозначности обратной характеристики  $x = \varphi(y)$  и

$$p(y) = \sum_{i=1}^n \frac{p(x)}{|dy/dx|} \Big|_{x_i=\varphi(y)} \quad (11)$$

в случае неоднозначности.

Если характеристика  $y = f(x)$  имеет горизонтальный участок на интервале  $(x_1, x_2)$ , то все множество значений  $x$ , лежащих на этом интервале, преобразуется в одно значение  $y$ , например  $y = Y_0$ . В этом случае в выражении плотности вероятностей  $p(y)$  появится дельта-функция  $P\delta(y - Y_0)$ , где коэффициент  $P$  равен вероятности попадания  $x$  в интервал  $(x_1, x_2)$ .

При прохождении случайного процесса через БНЧ изменяется его спектр  $S(f)$ , а следовательно, и его корреляционная функция  $R(\tau)$ . Спектр на выходе БНЧ обогащается новыми гармоническими и комбинационными гармоническими составляющими входного процесса.

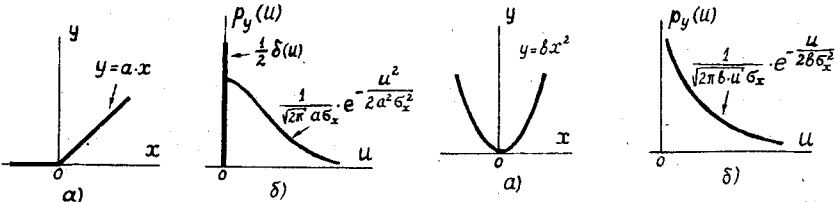
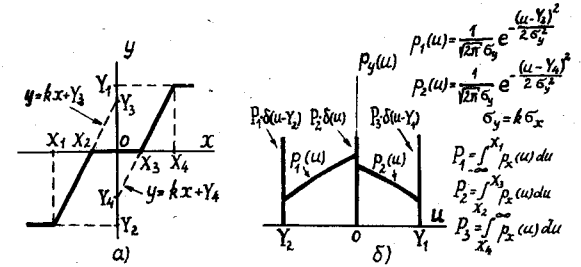


Рис. 4

Рис. 5

В работе БНЧ представлен тремя типами: "идеальный" диод, квадрататор и сложный ограничитель. Их характеристики  $y = f(x)$  приведены на рис. 4,а, рис. 5,а и рис. 6,а соответственно.

Рис. 6



При прохождении через БНЧ гауссовского шума  $\{x(t)\}$ , имеющего плотность вероятностей  $p_x(u)$  (I), плотность вероятностей  $p_y(u)$  на выходе принимает вид, представленный: на рис. 4,б - для идеального диода, на рис. 5,б - для квадрататора, на рис. 6,б - для сложного ограничителя.

В работе проводится исследование воздействия на линейный амплитудный детектор суммы двух процессов: гармонического колебания с неизвестной начальной фазой  $\{\nu(t)\}$  и узкополосного гауссовского шума  $\{\eta(t)\}$ . Процесс  $\{\nu(t)\}$  имеет плотность вероятностей  $p_\nu(u)$  (см. (8)) и рис. 3,а), а плотность вероятностей  $p_\eta(u)$  процесса  $\{\eta(t)\}$  - гауссовская (I).

Если амплитуда гармонического колебания равна нулю (на входе детектора действует только один шум  $\{\eta(t)\}$ ), то  $p_y(u)$  на выходе - релеевская:

$$p_y(u) = \frac{u}{\sigma_x^2} e^{-\frac{u^2}{2\sigma_x^2}}, \quad u > 0, \quad (12)$$

где  $\sigma_x^2$  - дисперсия входного шума  $\{\eta(t)\}$ .

При совместном действии  $\{\eta(t)\}$  и  $\{\nu(t)\}$  плотность вероятностей  $p_y(u)$  на выходе детектора имеет вид обобщенного распределения Гелая:

$$p_y(u) = \frac{u}{\sigma_x^2} e^{-\frac{u^2 + A_0^2}{2\sigma_x^2}} I_0\left(\frac{A_0}{\sigma_x} \frac{u}{\sigma_x}\right), \quad (13)$$

где  $A_0$  - амплитуда гармонического колебания;  $I_0$  - функция Бесселя мнимого аргумента.

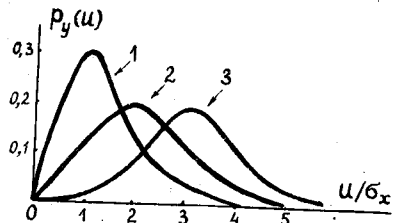


Рис. 7

На рис. 7 приведено семейство обобщенных функций Релея. При амплитуде гармонического колебания  $A_{01} = 0$  (кривая 1) форма кривой определяется выражением (12). Кривые 2 и 3 примерно соответствуют параметрам:  $A_{02}/\sigma_x = 2$  и  $A_{03}/\sigma_x = 3$ . Когда  $A_0/\sigma_x \gg 1$ ,  $p_y(u)$  приближается к гауссовской кривой с дисперсией  $\sigma_x^2$  и средним значением, равным  $A_0$ .

### Порядок выполнения работ

1. Ознакомиться с общими указаниями, вводными замечаниями и описанием лабораторного стенда.
2. Получить у преподавателя шифр задания, определить по шифру и выполнить индивидуальное задание, используя перечень и содержание заданий, приведенные ниже.

Шифр задания, выдаваемого преподавателем: А - В - С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>.

А - номер пункта задания;

В - вид нелинейности:

1 - идеальный диод,

2 - квадратор,

3 - сложный ограничитель;

С - вид случайного процесса:

1 - виде шум  $\{\xi_1(t)\}$  с узким спектром,

2 - виде шум  $\{\xi_2(t)\}$  с широким спектром,

3 - ради шум  $\{\eta_1(t)\}$  с узким спектром,

4 - ради шум  $\{\eta_2(t)\}$  с широким спектром.

Пример выданного задания: 2-2-1,2 - выполнить пункт 2 перечня заданий для случая квадратичной нелинейности, подавая на вход нелинейности виде шум  $\{\xi_1(t)\}$ , а затем виде шум  $\{\xi_2(t)\}$ .

### Перечень и содержание заданий

1. Наблюдение реализаций случайного процесса на входе и выходе безынерционного нелинейного четырехполюсника (БНЧ).

Провести ряд качественных наблюдений осциллограмм реализаций на входе и выходе БНЧ (см. п. 6 методических указаний). Отметить характерные черты этих реализаций (что общего, в чем различия).

Сопоставить эти наблюдения с видом характеристики БНЧ, прилагаемой к макету. Нарисовать типичные реализации с соблюдением масштабов по вертикали и горизонтали (В, мс). Словесно описать характерные особенности осциллограмм.

При выполнении задания руководствоваться п. 2 методических указаний.

2. Исследование преобразования плотности вероятностей случайного процесса при прохождении через БНЧ.

Снять и построить зависимости  $p_x(u)$  и  $p_y(u)$  для процессов на входе и на выходе БНЧ, руководствуясь пп. 6 и 3 методических указаний.

Построить теоретические зависимости  $p_y(u)$  при условии, что  $p_x(u)$  гауссовская, имея то же значение параметра  $\sigma$ , что и в эксперименте (см. рис. 4-6). При построении использовать характеристику нелинейности, приложенную к макету.

Сравнить теоретические и экспериментальные кривые.

3. Исследование спектров случайных процессов при прохождении через БНЧ.

Зарисовать осциллограммы и спектрограммы реализаций на входе и выходе БНЧ.

Провести измерение параметров входного и выходного спектров.

При выполнении задания руководствоваться пп. 6 и 4 методических указаний.

4. Исследование прохождения суммы узкополосного гауссовского шума  $\{\eta(t)\}$  и гармонического колебания  $\{v(t)\}$  через амплитудный детектор.

Собрать схему амплитудного детектора. Подать на вход детектора сумму гармонического колебания  $\{v(t)\}$  (сигнал) и узкополосного гауссовского шума  $\{\eta(t)\}$ . Руководствоваться при этом п. 7 методических указаний. Полосу пропускания ФНЧ детектора и ширину спектра радишума (узкий или широкий) выбрать по указанию преподавателя.

Зарисовать осциллограммы реализаций в различных точках схемы детектора для трех случаев:

а) при наличии на входе только одного шума  $\{\eta(t)\}$  (амплитуда гармонического колебания равна нулю);

б) при наличии шума  $\{\eta(t)\}$  и слабого сигнала  $\{v_1(t)\}$ ;

в) при наличии шума  $\{\eta(t)\}$  и сильного сигнала  $\{v_2(t)\}$ .

Снять и построить зависимости  $p_x(u)$  и  $p_y(u)$  для процессов на входе и на выходе детектора для трех указанных выше случаев, руководствуясь при этом п. 3 методических указаний.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ РАБОТ № 1 и № 2

Лабораторный макет, лицевая панель которого изображена на рис. 8, содержит функциональные узлы, обеспечивающие исследование основных характеристик случайных процессов. Направление стрелок показывает входные и выходные клеммы четырехполюсников.

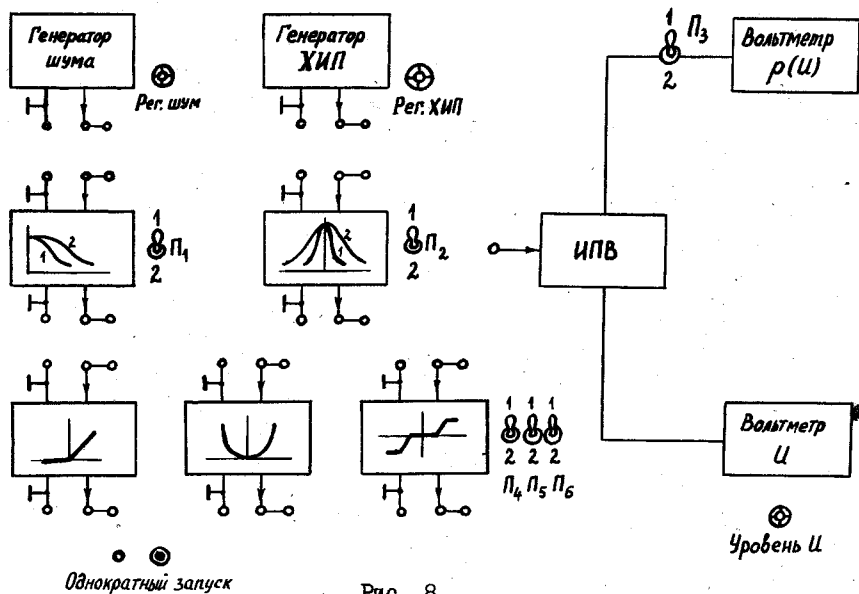


Рис. 8

Макет включает:

1. Генератор белого шума ("Генератор шума"). Уровень шума на выходе генератора регулируется потенциометром "Рег. шум".
2. Генератор хаотической импульсной последовательности ("Генератор ХИП"). Амплитуда импульсов на выходе генератора регулируется потенциометром "Рег. ХИП".
3. Фильтр нижних частот (ФНЧ). С помощью переключателя  $\Pi_1$  можно менять полосу пропускания ФНЧ.

4. Резонансный фильтр (РФ). С помощью переключателя  $\Pi_2$  можно менять полосу пропускания РФ.

5. Измеритель плотности вероятностей (ИПВ) с вольтметрами "Вольтметр  $p(u)$ " и "Вольтметр  $u$ ". С помощью переключателя  $\Pi_3$  можно менять чувствительность вольтметров. Аргумент  $u$  устанавливается потенциометром "Уровень  $U$ ".

6. Безынерционные нелинейные четырехполюсники — нижний ряд (слева направо): "идеальный" диод, квадрат, сложный ограничитель. С помощью переключателей  $\Pi_4, \Pi_5$  и  $\Pi_6$  можно менять форму характеристики ограничителя (рис. 6, а):  $\chi_1$  и  $\chi_2$  — с помощью  $\Pi_4$ ,  $\chi_3$  и  $\chi_4$  — с помощью  $\Pi_5$ ,  $\chi_5$  и  $\chi_6$  — с помощью  $\Pi_6$ .

7. Генератор одиночных импульсов, запускаемый кнопкой "Однократный запуск".

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТАМ № 1 и № 2

I. Получение и установка параметров заданного случайного процесса:

а) получение виде шума  $\{\xi(t)\}$  и радишума  $\{\eta(t)\}$  из исходного белого шума  $\{n(t)\}$ .

Для получения  $\{\xi(t)\}$  или  $\{\eta(t)\}$  нужно на макете (см. рис. 8) внешней перемычкой соединить выход генератора шума  $\{n(t)\}$  со входом соответствующего фильтра. При подаче шума  $\{n(t)\}$  на ФНЧ на выходе его будет действовать виде шум  $\{\xi(t)\}$ , а при подаче шума на РФ на выходе последнего будет наблюдаться радишум  $\{\eta(t)\}$ .

Переключатели  $\Pi_1$  (ФНЧ) и  $\Pi_2$  (РФ) позволяют изменить полосы пропускания фильтров. При положении 1 переключателей полосы пропускания узкие, при положении 2 — широкие.

Желаемый уровень шума  $\{\xi(t)\}$  или  $\{\eta(t)\}$  можно установить, регулируя уровень входного шума  $\{n(t)\}$  потенциометром "Рег. шум". Рекомендуется задавать полный размах шума  $6\sigma = 2 \dots 8$  В. Контроль проводить с помощью осциллографа по ширине шумовой дорожки на экране, составляющей примерно  $6\sigma$  для гауссовских случайных процессов.

При слишком большом уровне входного шума  $\{n(t)\}$  процесс на выходе фильтра будет негауссовским, что легко заметить по ограничению шума "сверху" и "снизу";

б) получение гармонического колебания с неизвестной начальной фазой  $\{\nu(t)\}$ .

В качестве генератора процесса  $\{v(t)\}$  используется внешний генератор звуковой частоты. Рекомендуемые параметры: частота  $f_0$  - не более 20 кГц, амплитуда  $A_0$  - в пределах 1...4 В;

в) получение суммы гармонического колебания  $\{v(t)\}$  и узкополосного гауссовского шума  $\{p(t)\}$ .

Узкополосный гауссовский шум или радишум  $\{p(t)\}$  создается из исходного белого шума  $\{n(t)\}$  по методике, описанной выше в п. I, а. Суммирование радишума  $\{p(t)\}$  с гармоническим колебанием  $\{v(t)\}$  производится подачей сигнала от генератора звуковой частоты на выход РФ. Для ослабления взаимного влияния процессов при подаче колебания  $\{v(t)\}$  от генератора на выход РФ использовать кабель с ослаблением 1:10.

Частоту  $f_0$  колебания  $\{v(t)\}$  желательно выбрать близкой по величине к резонансной частоте РФ, которая приблизительно равна 15 кГц.

Значения  $A_0$  и  $\sigma$  выбираются самостоятельно так, чтобы мощности процессов  $\{v(t)\}$  и  $\{p(t)\}$  были соизмеримы.

Рекомендуется устанавливать такие значения  $A_0$  и  $\sigma$ , чтобы полный размах шумовой дорожки от суммы реализаций процессов  $\{v(t)\}$  и  $\{p(t)\}$  составлял 2...8 В и не превышал бы 9 В. В противном случае возможны искажения (ограничения).

**П р и м е ч а н и е.** При установке желаемого уровня шума  $\{p(t)\}$  в смеси процессов  $\{p(t)\}$  и  $\{v(t)\}$  не следует отсоединять генератор звуковой частоты от схемы, а исключать процесс  $\{v(t)\}$  уменьшением до нуля его амплитуды с помощью ступенчатого и плавного аттенуаторов генератора.

Несколько примеров рекомендуемых установочных данных:

$66\sigma_2 = 6$  В,  $A_0 = 1$  В;  $66\sigma_2 = 4$  В,  $A_0 = 2$  В;  $66\sigma_2 = 2$  В,  $A_0 = 3$  В;

$66\sigma_2 = 3$  В,  $A_0 = 1$  В;

г) получение хаотической импульсной последовательности (ХИП).

Процесс  $\{z(t)\}$  создается генератором ХИП (см. рис. 8). Амплитуда импульсов последовательности регулируется потенциометром "Рег. ХИП".

2. Наблюдение реализаций случайного процесса.

Для более детального рассмотрения реализаций случайного процесса на экране осциллографа (помимо автоматического режима) можно использовать режим однократного запуска развертки осциллографа. Для этого следует клемму макета "Однократный запуск" соединить с клеммой осциллографа "Вход синхр." и установить режим внешней синхронизации осциллографа (нажать клавишу "□"). Подо-

брав положения ручек осциллографа "Стабильность" и "Уровень" и нажав кнопку "Однократный запуск" на макете, можно наблюдать на экране осциллографа отдельные реализации случайного процесса.

3. Измерение плотности вероятностей  $f(u)$ .

Измерение плотности вероятностей  $f(u)$  производится по двум вольтметрам (см. рис. 8). Нижний вольтметр показывает истинное значение аргумента  $u$  плотности вероятностей  $f(u)$  в вольтах. Показания верхнего вольтметра (в условных единицах) пропорциональны значению плотности вероятностей  $f(u)$ . Значение аргумента  $u$  устанавливается потенциометром "Уровень  $U$ ".

Если на вход ИПВ подать случайный процесс и установить по нижнему вольтметру уровень анализа, например  $u = 1$  В, то показание верхнего вольтметра будет соответствовать значению  $f(u=1В)$  в некотором масштабе, который еще предстоит определить (см. ниже).

Переключатель  $\Pi_3$  (см. рис. 8) изменяет диапазон измерений вольтметра - "Уровень  $U$ " (и одновременно чувствительность верхнего вольтметра). При нахождении переключателя в положении 1 пределы измерений вольтметра  $\pm 5$  В, в положении 2 -  $\pm 1,25$  В.

При снятии кривых  $f(u)$  следует выбрать 6...10 точек, равномерно отстоящих друг от друга на участке, где  $f(u)$  имеет значение, отличное от нуля, и провести в них измерение  $f(u)$  (в условных единицах). Необходимо также регистрировать точки, в которых  $f(u)$  принимает экстремальные значения: минимумы, максимумы, стремится к бесконечности ("зашкаливание" верхнего вольтметра).

При построении кривой по снятым значениям  $f(u)$  нужно определить масштаб по оси ординат. Для этого можно воспользоваться тем условием, что площадь под кривой  $f(u)$  должна быть равна единице. Аппроксимируя экспериментальную кривую прямоугольниками (рис.9), из условия  $\sum_i V_i m \Delta u$ , где  $V_i$  - показание верхнего вольтметра в условных единицах;  $m$  - искомый масштабный коэффициент, находим  $m = \frac{1}{\Delta u \sum_i V_i}$ . Тогда значения плотности вероятностей в отсчетных точках будут равны  $f_i = V_i m$ .

**П р и м е ч а н и е.** Установку и измерение параметров исследуемых процессов (амплитудных значений, ширины шумовой дорожки) проводить по методике, описанной в п. I, при подключенном ИПВ.



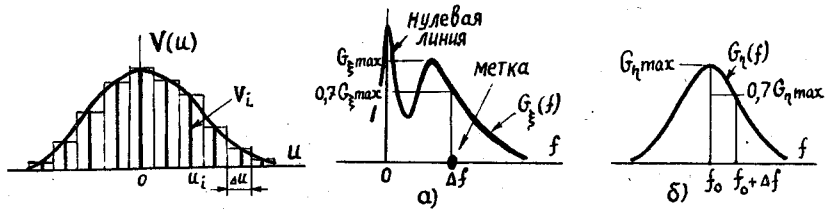


Рис. 9

Рис. 10

#### 4. Исследование спектров случайных процессов:

а) наблюдение и измерение параметров спектра.

Подать на вход анализатора спектра исследуемый процесс.

В режиме грубого обзора (переключатель "Обзоркнх" в положении 20 кГц/дел) с помощью ручек "Частота грубо" и "Частота плавно" найти на экране спектр исследуемого процесса и линию нулевой частоты (рис. 10,а или рис. 11).

Подобрать желаемый размах спектрограммы по вертикали с помощью аттенуаторов "Ослабление dВ" и "Номинальный уровень".

При настройке, наблюдении и измерении параметров спектра режим работы анализатора следующий: память индикатора - периодическая, развертка - автоматическая, внутренняя. Срисовывать спектрограмму удобно в другом режиме: память - длительная, развертка - одиночная (запуск - нажатием кнопки). Зарисовывать спектр после усреднения по трем-четырем реализациям (три-четыре нажатия кнопки одиночного запуска развертки).

Наблюдение и измерение параметров спектра видеошумов  $\{\xi_i(t)\}$ , особенно шума с узким спектром, затруднено, так как анализатор спектра не пропускает низкие частоты. Тем не менее, постепенно расширяя масштаб переключателем "Обзоркнх" и находя всякий раз спектр на экране с помощью ручек "Частота грубо" и "Частота плавно", можно получить на экране картину, подобную изображенной на рис. 10,а. После чего, используя яркостную метку, по цифровой шкале частотомера ("Блок низкой частоты") можно приблизительно оценить частоту, равную  $\Delta f$ . Перемещение метки по горизонтали производится с помощью ручки "Метка". Следует заметить, что на установку метки в нужном месте отводится мало времени - всего 1 с - во время развертки луча по горизонтали. Не огорчайтесь, если это Вам не удастся сделать за один период развертки. Подождите следующий период и сделайте подстройку.

Наблюдение и измерение параметров спектра радишума  $\{\rho(t)\}$  (см. рис. 10,б) производится также, как и спектра видеошума. Но при этом нужно проводить измерение частот  $f_0$  и  $f_0 \pm \Delta f$ ;

б) исследование спектров на выходе нелинейности. Наиболее наглядно влияние нелинейности на изменение спектра случайного процесса при прохождении его через БЧ проявляется в том случае, когда входной спектр узкополосный. При этом для выходного спектра характерна многолепестковая структура.

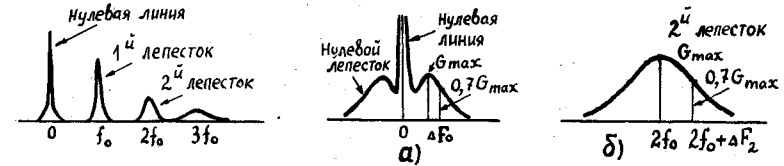


Рис. 11

Рис. 12

Именно такие исследования проводятся в данной работе. Например, на рис. 11 в мелком масштабе приведен спектр узкополосного шума на выходе некоторой нелинейности, а на рис. 12 в крупном масштабе изображены фрагменты спектра. Как видно из рисунков, спектр на выходе БЧ имеет много лепестков.

Задача эксперимента - определить, на каких частотах расположены лепестки спектра, какова величина и форма отдельных лепестков. При проведении исследования использовать методику, приведенную выше (см. п. 4,а).

#### 5. Изучение явления "нормализации".

Подать процесс  $\{\zeta(t)\}$  с выхода генератора XIII на вход заданного фильтра. Регулируя потенциометром "Рег. XIII" амплитуду входных импульсов, добиться того, чтобы процесс на выходе фильтра не имел искажений, на выходе ФНЧ - ограничений "снизу", а на выходе РФ - ограничений и "сверху", и "снизу". Для контроля использовать осциллограф. В случае ФНЧ использовать открытый вход осциллографа.

В процессе исследования

- зарисовать типовые осциллограммы реализаций на входе и выходе фильтра (см. п. 2 методических указаний);

- снять кривые плотности вероятностей  $p(u)$  на входе и выходе фильтра (см. п. 3 методических указаний). Измерить по осциллографу амплитуду входных импульсов и ширину шумовой дорожки  $\delta\delta$  на выходе фильтра.

#### 6. Исследование прохождения случайного процесса через БНЧ.

Получить случайный процесс, подлежащий изучению, используя методику, приведенную выше в п. I, и подать этот процесс на вход заданной нелинейности.

При установке уровня шума на входе БНЧ ("идеального" диода или квадратора) следить за тем, чтобы не было ограничений "сверху" процессов на выходе. Для контроля использовать осциллограф с открытым входом. Ширина шумовой дорожки на выходе БНЧ в этих случаях должна быть не более 4 В.

#### 7. Исследование прохождения суммы процессов $\{v(t)\}$ и $\{p(t)\}$ через амплитудный детектор.

Линейный амплитудный детектор представляет собой последовательно соединенные с помощью внешней перемычки идеальный диод и ФНЧ. Вход детектора - входные клеммы идеального диода, выход - выходные клеммы ФНЧ. Следует заметить, что в данном детекторе напряжение на выходе имеет отрицательную полярность, кроме того, детектор работает с усилением.

Руководствуясь п. I, в методических указаниях, получить процесс для исследований - смесь процессов  $\{v(t)\}$  и  $\{p(t)\}$  - и подать его на вход детектора.

Необходимо придерживаться следующего порядка установки параметра  $\delta_p$  процесса  $\{p(t)\}$  и амплитуды  $A_0$  процесса  $\{v(t)\}$ . Установка параметров процессов производится при подключенном к выходу детектора измерителе ИПВ.

Не отсоединяя генератор звуковой частоты от схемы, уменьшить до минимума амплитуду  $A_0$  с помощью клавишного аттенуатора генератора. Регулируя уровень шума  $\{p(t)\}$  потенциометром "Рег. шума", установить размах шумовой дорожки на выходе детектора в пределах 1,5...2,5 В. Контроль осуществлять по осциллографу с открытым входом. Подключить осциллограф ко входу детектора и измерить ширину шумовой дорожки  $6\delta_p$  входного шума  $\{p(t)\}$ . Таким образом, параметры процесса  $\{p(t)\}$  определены.

Теперь следует задать амплитуду  $A_{01}$  процесса  $\{v_1(t)\}$  - слабого сигнала. Для чего отключить шум  $\{p(t)\}$  отсоединением генератора белого шума  $\{n(t)\}$  от входа резонансного фильтра и, регулируя амплитуду гармонического колебания  $A_0$  с помощью клавишного и плавного аттенуаторов звукового генератора, установить отрицательную постоянную составляющую на выходе детектора приблизительно 0,5...1 В. Переключить осциллограф на вход детектора и измерить амплитуду  $A_{01}$ .

Аналогично, не изменяя уровня шума  $\{p(t)\}$ , устанавливается амплитуда  $A_{02}$  сильного сигнала  $\{v_2(t)\}$ . При этом отрицательное постоянное напряжение на выходе детектора должно составлять 2...2,5 В.

**П р и м е ч а н и е.** При исследовании не допускать ограничения "снизу" процесса на выходе детектора.