

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 20.12.2021 10:42:58

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb15a5b426d39e5f1c11eabb173e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра телекоммуникаций

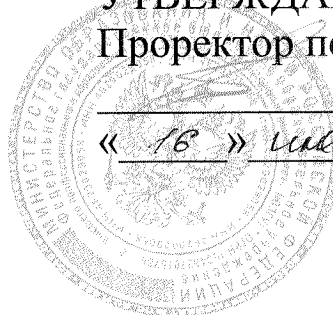
УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

« 16 » *Июль*

2013 г.



ПРОХОЖДЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Методические указания
по выполнению лабораторной работы № 5
по курсу «Общая теория связи»

Курск 2013

УДК 621.391 (075)

Составители: С.Г. Лукьянюк, И.Г. Бабанин, С.С. Хотынюк

Рецензент

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры *А.М. Потапенко*

Прохождение случайных сигналов через линейные и нелинейные цепи: методические указания по выполнению лабораторной работы № 5 по курсу «Общая теория связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.Г. Лукьянюк, И.Г. Бабанин, С.С. Хотынюк. Курск, 2013. 12 с.: ил. 4.

Содержат методические указания по выполнению лабораторной работы № 5 «Прохождение случайных сигналов через линейные и нелинейные цепи» по курсу «Общая теория связи».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы, утверждённой УМО по направлению подготовки 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», и рабочей программы дисциплины «Общая теория связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» дневной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать . Формат 60x841/16.
Усл. печ. л. 0,6. Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 100 экз. Заказ. 22. Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Оглавление

1. Цель работы	4
2. Краткая характеристика исследуемых цепей и сигналов	4
3. Домашнее задание	5
4. Основы теории	5
5. Лабораторное задание	8
6. Методические указания	9
7. Отчёт	12
8. Контрольные вопросы	12

1 Цель работы

Исследование изменения законов распределения мгновенных значений случайных сигналов при их прохождении через линейные и нелинейные цепи.

2 Краткая характеристика исследуемых цепей и сигналов

В работе используется универсальный лабораторный стенд со сменным блоком «ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ» (рисунок 1).

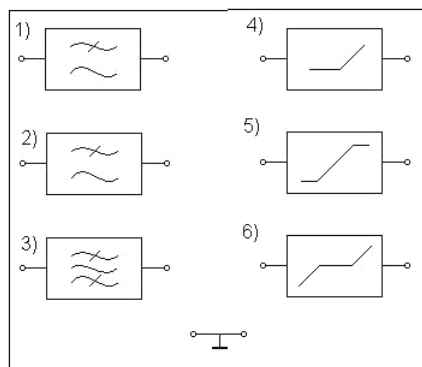


Рисунок 1 – Сменный блок для исследования прохождения случайных сигналов через различные цепи

В составе блока имеются три линейные цепи с номерами:

1 – ФНЧ с частотой среза 3 кГц;

2 – ФНЧ с частотой среза 6 кГц;

3 – ПФ с центральной частотой 6 кГц и шириной полосы пропускания $\Delta f = 0,5$ кГц;

и три нелинейных безинерционных цепи под номерами:

4 – односторонний ограничитель;

5 – двухсторонний ограничитель;

6 – нелинейная цепь, вызывающая искажение типа «центральная отсечка».

В качестве сигналов используются:

– «белый» шум (нормальный случайный процесс);

– гармонический сигнал со случайной начальной фазой;

– аддитивная смесь этих сигналов в разных соотношениях.

Кроме универсального лабораторного стенда в работе используются осциллограф, вольтметр и ПК, работающий в режиме «ГИСТОГРАММА» для снятия кривых плотности вероятности (гистограмм). Для фиксации реализаций исследуемых процессов используется ПК в режиме «ОСЦИЛЛОГРАФ».

3 Домашнее задание

Изучите основные вопросы темы «Прохождение случайных сигналов через линейные и нелинейные цепи» по конспекту лекций и литературе:

– Лукьянюк, С. Г. Теория электрической связи. Сигналы, помехи и системы передачи: учебное пособие. / С. Г. Лукьянюк, А. М. Потапенко / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2012, с.105 – 121;

– Баскаков И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2005, с. 253 – 273, 300 – 305.

4 Основы теории

4.1 Нелинейные безынерционные преобразования случайного процесса

Нелинейное преобразование $\eta(t) = f[\xi(t)]$ называется безынерционным, если $\eta(t_k)$ в момент времени t_k зависит только от $\xi(t_k)$. ПВ процесса η определяется выражением:

$$w(\eta) = w(\xi) \left| \frac{d\xi}{d\eta} \right| = \frac{w(\xi)}{\left| \frac{d\eta}{d\xi} \right|}.$$

Рассмотрим пример нелинейного преобразования СП в ограничителе, характеристика которого аппроксимируется линейно-ломаными прямыми (рисунок 2).

$$\eta = \begin{cases} -b, & \text{при } \xi < -\beta, \\ s\xi, & \text{при } -\beta \leq \xi < \alpha, \\ a, & \text{при } \xi \geq \alpha. \end{cases}$$

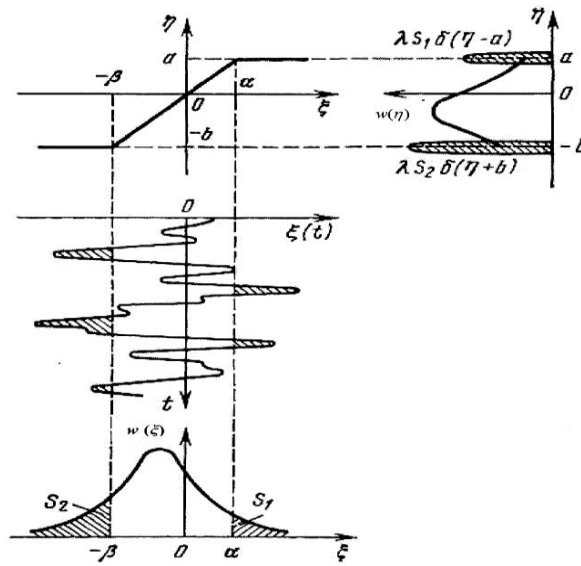


Рисунок 2 – Воздействие случайного процесса на безинерционный ограничитель

На входе ограничителя действует стационарный нормальный СП $\xi(t)$ с нулевым средним $m_{1\xi} = 0$:

$$w(\xi) = \frac{1}{\sigma_{\xi} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\xi^2}{2\sigma_{\xi}^2}}.$$

Определим ПВ $w(\eta)$ процесса $\eta(t)$ на выходе ограничителя.

На интервале $(-b, a)$ преобразование $\eta(t) = f[\xi(t)]$ в данном примере является линейным: $\eta = s\xi^2$. Поэтому внутри этого интервала:

$$w(\eta) = w_{\xi}\left(\frac{\eta}{s}\right) \frac{1}{s}, \quad -b < \eta < a.$$

Вероятность того, что $\eta < -b$ или $\eta > a$, равна нулю, а вероятность того, что η заключено в интервале $(-b, a)$:

$$P(-b < \eta < a) = \int_{-b}^a w(\eta) d\eta = \frac{1}{s} \int_{-b}^a w_{\xi}\left(\frac{\eta}{s}\right) d\eta.$$

Все значения ξ , для которого $\xi \geq \alpha$, преобразуются ограничителем в одно значение $\eta = a$ (рисунок 2).

Аналогично, все значения $\xi \leq -\beta$ преобразуются в значение $\eta = -b$. Следовательно, вероятность:

$$P(\xi \geq \alpha) = S_1 = \int_{\alpha}^{\infty} w(\xi) d\xi,$$

преобразуется для η в δ -функцию, расположенную в точке $\eta = a$. Множитель при δ -функции $\delta(\eta - a)$ пропорционален S_1 . Вероятность:

$$P(\xi < -\beta) = S_2 = \int_{-\infty}^{-\beta} w(\xi) d\xi,$$

преобразуется для η в δ -функцию, расположенную в точке $\eta = -b$. Множитель при δ -функции $\delta(\eta + b)$ пропорционален S_2 .

Т. о., искомая ПВ равна:

$$w(\eta) = \begin{cases} \frac{1}{s} w_{\xi}\left(\frac{\eta}{s}\right) + \lambda S_1 \delta(\eta - a) + \lambda S_2 \delta(\eta + b), & -b \leq \eta \leq a, \\ 0, & \eta < -b, \eta > a, \end{cases}$$

где λ – коэффициент пропорциональности, определяемый из условия нормировки ПВ:

$$w(\eta) = \lambda(S_1 + S_2) + \frac{1}{s} \int_{-b}^a w_{\xi}\left(\frac{\eta}{s}\right) d\eta = 1.$$

Очевидно при $s = 1$ коэффициент $\lambda = 1$.

Первое слагаемое соответствует ПВ выходного процесса при $-\beta < \xi < \alpha$ или $-b < \eta < a$:

$$w_{\xi}\left(\frac{\eta}{s}\right) = \frac{1}{s\sigma_{\xi}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\eta^2}{2s^2\sigma_{\xi}^2}},$$

Т. о., процесс на выходе ограничителя в этом случае также является нормальным со средним значением, равным нулю $m_{1\eta} = 0$, и дисперсией $\sigma_{\eta}^2 = s^2\sigma_{\xi}^2 > \sigma_{\xi}^2$.

Второе и третье слагаемые соответствуют ПВ выходного процесса, соответственно, при $\xi = -\beta$ или $\eta = -b$ и $\xi = \alpha$ или $\eta = a$.

График ПВ $w(\eta)$ приведён на рисунке 2.

4.2 Линейные (инерционные) преобразования случайного процесса

Процесс на выходе линейной инерционной электрической цепи (ЛЭЦ) $\eta(t_1)$ зависит от значений входного процесса ξ в моменты времени, предшествующие t_1 , непосредственно в t_1 и в последующие после t_1 :

$$\eta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \xi(\tau) h(t - \tau) d\tau,$$

где $\eta(t)$ – СП на выходе линейной цепи,

$\xi(t)$ – входной СП,

$h(t - \tau)$ – импульсная характеристика (реакция) линейной цепи.

Основные свойства линейных преобразований СП:

1) если СП на входе ЛЭЦ $\xi(t)$ нормальный, то СП на выходе $\eta(t)$ тоже нормальный, но его числовые характеристики отличаются от числовых характеристик входного процесса $\xi(t)$ и определяются следующим образом:

$$m_{1\eta} = \overline{\eta(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} m_{1\xi} h(t - \tau) d\tau, \quad B_{\eta}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(u) h(v) B_{\xi}(u - v + \tau) dudv;$$

2) если процесс на входе ЛЭЦ не нормальный, но ширина его спектра значительно больше полосы пропускания линейной цепи $\Delta\omega_{\xi} \gg \Pi_{\text{лэц}}$, то процесс на выходе ЛЭЦ имеет тенденцию к нормализации.

5 Лабораторное задание

5.1 Исследуйте прохождение сигнала с нормальным законом распределения через линейные и нелинейные цепи.

5.2 Исследуйте процесс нормализации закона распределения при прохождении сигнала через линейную узкополосную цепь.

5.3 Исследуйте прохождение узкополосного сигнала с нормальным законом распределения через амплитудный детектор.

6 Методические указания

6.1 Прохождение сигнала с нормальной ПВ через цепи 1...6

6.1.1 Пользуясь генератором «1 кГц» в блоке «ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ» и встроенным мультиметром, откалибруйте осциллограф так, чтобы при $U_{\text{вх}} = 0,35$ В размах синусоиды на его экране составлял ± 1 деление. Затем, заменив генератор «1 кГц» на генератор шума (ГШ), ручкой регулятора выхода ГШ установите ширину «шумовой дорожки» на экране ± 3 деления, что соответствует $\pm 3\sigma$ (согласно правилу «трёх сигм» для нормального случайного процесса). Следовательно, σ шума соответствует 0,5 В. При последующем исследовании шести цепей не меняйте ни уровень шума, ни усиление осциллографа.

6.1.2 Подключив ГШ ко входу «А» ПК, работающего в режиме «ГИСТОГРАММА», с помощью ручки регулировки входного сигнала ПК, расположенной рядом с гнездом «А», установите на мониторе требуемый размах сигнала. Зафиксируйте общую для всех цепей реализацию сигнала на входе, график плотности вероятности и его параметры – m и σ .

6.1.3 Подключите выход ГШ ко входу первой цепи, а ПК – к её выходу, зафиксируйте выходную реализацию, плотность вероятности выходного сигнала $w_{\text{вых}}(x)$ и его параметры $m_{\text{вых}}$ и $\sigma_{\text{вых}}$.

6.1.4 Повторите п. 6.1.3 для остальных пяти цепей.

6.2 Нормализация закона распределения узкополосной линейной цепью.

6.2.1 Случайный сигнал с распределением, отличным от нормального, может быть получен путём передачи нормального случайного процесса через нелинейную цепь (блоки 5 или 6), рисунок 3.

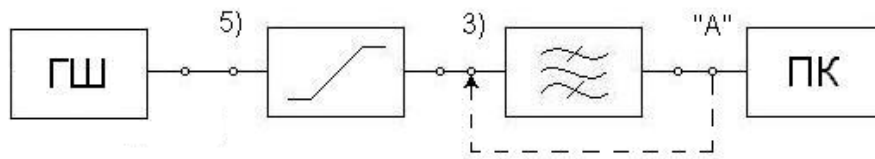


Рисунок 3 – Структурная схема измерений по п. 6.2

6.2.2 Соберите цепь согласно схеме на рисунке 3.

6.2.3. Подключив осциллограф к выходу цепи 5, ручкой регулятора выхода ГШ добейтесь появления на осциллограмме заметного двухстороннего ограничения сигнала.

Проходя через узкополосную линейную цепь (3), такой сигнал «нормализуется», т.е. его закон распределения приближается к гауссовскому.

6.2.4 Подключая ПК на вход и выход цепи 3, получите реализации сигналов и гистограммы на входе и выходе цепи 3.

В отчёте по п. 6.2 охарактеризуйте изменения в законе распределения сигнала при прохождении линейной узкополосной цепи.

6.3 Законы распределения огибающей при различном отношении сигнал/шум.

6.3.1 Для получения узкополосного нормального процесса используйте полосовой фильтр (цепь 3), а для получения огибающей – амплитудный детектор, состоящий из диодного ограничителя (нелинейная цепь 4) и ФНЧ (цепь 1), как показано на рисунке 4.

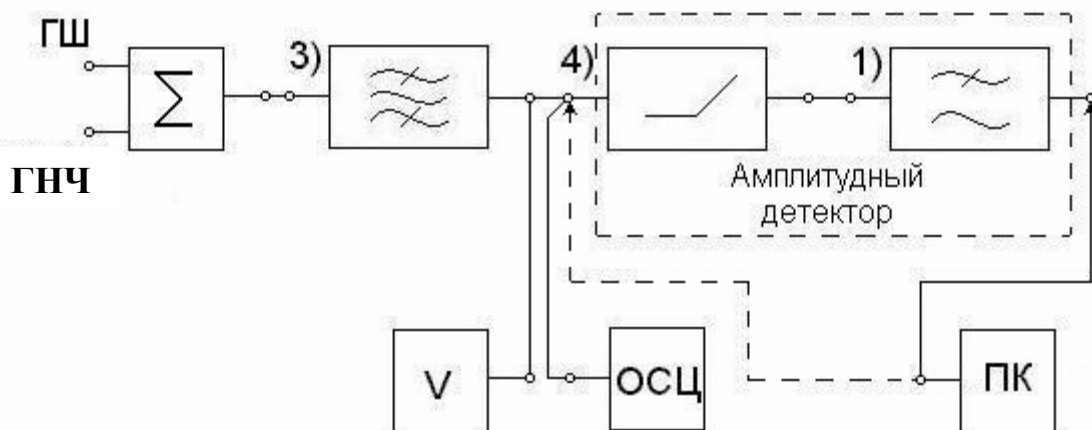


Рисунок 4 – Структурная схема измерений по п. 6.3

6.3.2 Соберите цепь в соответствии с рисунком 4. Отключите генератор шума от сумматора, подберите частоту генератора НЧ (в районе 6 кГц), при которой показания вольтметра достигнут максимума. Установите выходное напряжение генератора таким, чтобы показания вольтметра на выходе цепи 3 соответствовали 0,35 В.

6.3.3 Отключите генератор НЧ от входа сумматора и подключите туда ГШ. Отрегулируйте выходное напряжение ГШ так, чтобы на экране осциллографа, подключённого к выходу цепи 3, максимальная ширина «шумовой дорожки» составляла 6 клеток ($6\sigma = 6$ клеток). Если калибровка осциллографа, выполненная в п. 6.1.1. не нарушалась, то σ при этом равно 0,5 В, а отношение $a/\sigma = 0$ (так как генератор отключён).

6.3.4 Подключая ПК ко входу амплитудного детектора (вход цепи 4) и его выходу (выход цепи 1), зафиксируйте реализации и гистограммы исследуемых сигналов.

6.3.5 Подключите генератор НЧ ко входу сумматора и отключите источник шума. Отрегулируйте выходное напряжение генератора так, чтобы ширина осциллограммы в той же точке схемы составляла 2 клетки (двойная амплитуда $2a$ соответствует 1 В, т. е. $a = 0,5$ В). Подключив источник шума ко входу сумматора, на его выходе получите аддитивную смесь «белого» шума и гармонического сигнала при $a/\sigma = 1$. Повторите п. 6.3.4.

6.3.6 Отключив шумовой генератор от входа сумматора, отрегулируйте выходное напряжение гармонического сигнала так, чтобы ширина осциллограммы составила 4 клетки (т. е. $a = 1$ В). Подключите источник шума ко входу сумматора. Если положение регуляторов выхода не нарушились, то σ по-прежнему равно 0,5 В, следовательно, $a/\sigma = 2$. Повторите п. 6.3.4.

6.3.7 Повторите п. 3.6.6, но ширину осциллограммы (регулятором выхода генератора) установите 6 клеток. Теперь амплитуда $a = 1,5$ В, а отношение $a/\sigma = 3$. Повторить п. 6.3.4.

7 Отчёт

Отчёт по форме и содержанию должен соответствовать требованиям, изложенным в разделе 3 (Оформление отчётов) Общих положений.

Отчёт должен содержать:

- 1) структурную схему соединений лабораторной установки для выполнения исследований;
- 2) результаты экспериментов с указанием условий проведения;
- 3) обобщённые выводы по результатам исследований.

8 Контрольные вопросы

- 1) Что такое плотность вероятности? Поясните смысл и свойства графика плотности вероятности.
- 2) Функция распределения и плотность вероятности – какова их связь?
- 3) Нормальный случайный процесс и его свойства.
- 4) К каким случайным процессам относится «правило трёх сигм»?
– Меняется ли форма графика $w(x)$ при прохождении любого случайного процесса через линейную инерционную цепь и нелинейную безинерционную цепь?
- 5) Как получить график $w(x)$ на выходе нелинейной цепи?
- 6) Как рассчитать дисперсию и математическое ожидание на выходе нелинейной цепи?
- 7) Что происходит с плотностью вероятности случайного сигнала, проходящего через узкополосную линейную цепь?
- 8) Что такое закон Рэлея?
- 9) Какому закону подчиняется распределение мгновенных значений огибающей смеси узкополосного нормального случайного процесса и гармонического сигнала?
- 10) Как рассчитать дисперсию процесса на выходе линейной цепи?
- 11) Как рассчитать математическое ожидание процесса на выходе линейной цепи?