

ФЕДЕРАЛЬНАЯ АВИАЦИОННАЯ СЛУЖБА РФ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра основ радиотехники и защиты информации
М.М.Шемаханов, А.А.Илюхин

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Пособие
к выполнению лабораторных работ № 1-7

для студентов III курса
специальности 090106
дневной формы обучения

Москва –2008

Данное пособие издается в соответствии с учебной программой дисциплины ОПД.Ф.14 “ Теория электрической связи” по Учебному плану специальности 090106 для студентов 3 курса дневной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 8.04.08 г. и методического совета ФАСК 24.04.08г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование формирования сигналов с амплитудной и угловой модуляцией

1. Цель работы - изучение характеристик сигналов с амплитудной и угловой модуляцией и способов их формирования.

2. Домашнее задание

2.1. Изучение теоретического материала.

2.2. Ознакомление с работой программы.

2.3. Ознакомление с индивидуальным заданием на выполнение лабораторной работы.

3. Основные теоретические сведения

Для передачи информации на расстояние применяются радиосигналы, эффективно излучаемые с помощью антенных устройств и обладающие способностью распространяться в виде свободных электромагнитных волн в среде, разделяющей отправителя и получателя информации. Такими радиосигналами являются модулированные колебания.

Используем в качестве несущей (переносчика сообщений) гармонический сигнал

$$u_{\omega_0}(t) = U_{M0} \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1.1)$$

Он характеризуется тремя параметрами: амплитудой U_0 , фазой φ_0 и частотой ω_0 . Меняя эти параметры во времени по закону первичного сигнала $b(t)$, получаем соответственно сигналы амплитудной (АМ), фазовой (ФМ) и частотной (ЧМ) модуляций. Зависимость меняющихся параметров несущей от первичного сигнала называют модуляционной характеристикой.

Линейную амплитудную модуляцию можно записать

$$u_{\lambda i}(t) = U_M(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = [U_{M0} + K_{\lambda i} b(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.2)$$

где $U_M(t) \geq 0$ – огибающая (амплитуда) АМ сигнала, K_{AM} – крутизна характеристики модулятора. Сигнал (1.2) можно записать в виде

$$u_{\lambda i}(t) = U_{M0} [1 + Mx(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.3)$$

где $M = \frac{K_{\lambda i} |b(t)|_{\max}}{U_{M0}}$ - коэффициент глубины амплитудной модуляции,

$x(t) = \frac{b(t)}{|b(t)|_{\max}}$ - нормированный модулирующий сигнал, $|x(t)| \leq 1$.

Величина $\Delta U = MU_{M0}$ определяет девиацию (максимальное отклонение) амплитуды в ходе модуляции.

При тональной модуляции $b(t) = U_{M\Omega} \cos(\Omega t + \varphi_\Omega)$ получаем

$$u_{AM}(t) = [U_{M0} + K_{AM} U_{M\Omega} \cos(\Omega t + \varphi_\Omega)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_{M0} [1 + M \cos(\Omega t + \varphi_\Omega)] \times \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1.4)$$

Сигнал (1.4) можно представить

$$u_{AM}(t) = U_{M0} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{MU_{M0}}{2} \cos((\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \varphi_\Omega) + \frac{MU_{M0}}{2} \cos((\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0 - \varphi_\Omega). \quad (1.5)$$

Этот сигнал содержит компоненты на частоте несущей (f_0) и на боковых частотах: верхней (f_0+F) и нижней (f_0-F), $F = \Omega/(2\pi)$ и АЧС имеет вид:

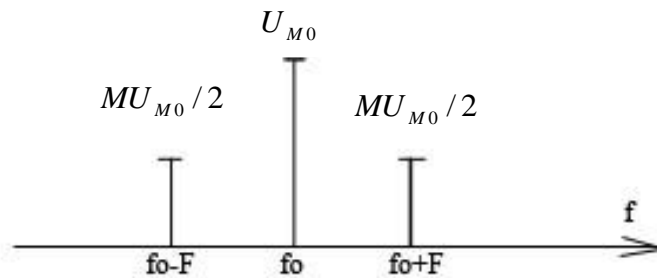


Рис. 1.1. АЧС модулированного сигнала

Из (1.5) видно, что средняя мощность несущей в АМ сигнале $P_i = \frac{U_{M0}^2}{2}$, в то время как средняя мощность двух боковых компонент составляет

$$P_a = \frac{2M^2 U_{M0}^2}{8} = P_i \frac{M^2}{2}. \quad (1.6)$$

Суммарная средняя мощность

$$P_\Sigma = P_i + P_a = P_i \left(1 + \frac{M^2}{2} \right). \quad (1.7)$$

Таким образом, полезная мощность АМ сигнала (определяемая боковыми составляющими, дающими информацию о частоте первичного

сигнала и его интенсивности) составляет лишь $\left(\frac{M^2}{2} \cdot 100\right)\%$ от мощности несущей и $\left(\frac{M^2}{2+M^2} \cdot 100\right)\%$ от общей средней мощности. При $M = 1$ эти доли составляют соответственно 50 и 33 %.

На практике (во избежание перемодуляции и для уменьшения искажений при модуляции и детектировании) M берут не более 0,5...0,7. Отсюда видно, что АМ является неэкономичным видом модуляции, т.к. основная мощность сигнала приходится на центральную спектральную составляющую, не несущую информацию о сообщении.

В транзисторном каскаде модуляция амплитуды колебаний может осуществляться вариацией режима работы каскада путем изменения напряжения на коллекторе и появлением амплитудной модуляции, вследствие изменения коэффициента усиления каскада по первой гармонике тока I_{k1} . При этом напряжение на коллекторе транзистора (рис.1.2) рассматривается как сумма высокочастотного колебания, действующего на контуре, постоянного напряжения коллекторного питания E_k и напряжения источника модулирующего сигнала. Для получения неискаженной модуляции требуется, чтобы амплитуда I_{k1} изменялась пропорционально изменению модулирующего напряжения.

Зависимость I_{k1} от постоянного напряжения на коллекторе U_k , получаемая при постоянной амплитуде входного базового высокочастотного напряжения несущей U_{m0} , называется статической модуляционной характеристикой.

При коллекторной модуляции (рис.1.2) заметное влияние оказывает нелинейная зависимость емкостей переходов (эмиттерного и коллекторного) от модулирующего напряжения, приводящая к расстройке выходного контура и искажениям модулированного сигнала. В данной работе это явление не учитывается.

Из схемы видно, что напряжение несущего колебания $u_{\omega_0}(t)$ подается на базу транзистора через разделительную емкость C_p и дроссель ДР1.

Напряжение смещения на базу поступает с цепочки R_3C_3 , включенной в эмиттер. Модулирующий сигнал подается последовательно с напряжением коллекторного питания E_k через НЧ трансформатор Тр. Фильтр, составленный из Др2 и C_6 препятствует прохождению тока высокой частоты I_{k1} в модулирующий трансформатор (развязка по высокой частоте).

Таким образом, на коллекторе VT1 относительно земли действует три напряжения: ВЧ напряжение на контуре, НЧ модулирующий сигнал, напряжение питания коллектора.

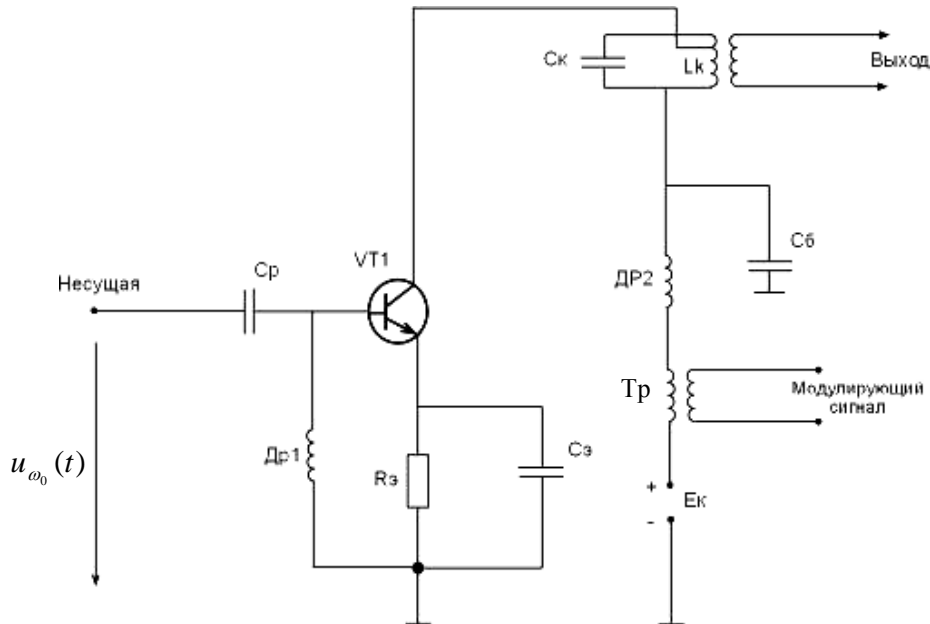


Рис. 1.2. Схема осуществления амплитудной модуляции за счет изменения напряжения на коллекторе транзистора

Сигнал угловой модуляции (УМ) при гармонической несущей можно представить так

$$u_{\delta i}(t) = U_{M0} \cos(\psi(t)) = U_{M0} \cos(\omega_0 t + \varphi(t)), \quad (1.8)$$

где $\psi(t) = \omega_0 t + \varphi(t)$ – полная мгновенная фаза сигнала; $\varphi(t)$ – фаза, которая несет в себе информацию о первичном сигнале $b(t)$. Амплитуда сигнала УМ, а следовательно, и его средняя мощность неизменны, что облегчает режим работы выходных каскадов передатчика.

На практике различают два вида УМ: фазовая модуляция и частотная модуляция. При ФМ изменения фазы $\varphi(t)$ прямо пропорциональны первичному сигналу

$$\varphi_{\delta i}(t) = K_{\delta i} b(t) + \varphi_0, \quad (1.9)$$

где φ_0 – начальная фаза,

$K_{\text{ФМ}}$ – коэффициент пропорциональности между изменением фазы и управляющим (модулирующим) сигналом с размерностью рад./В.

При ЧМ мгновенная частота сигнала прямо пропорциональна первичному сигналу

$$\omega_{\times i}(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = \omega_0 + \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_0 + K_{\times i} b(t). \quad (1.10)$$

Аналогично сказанному выше $K_{\text{ЧМ}}$ имеет размерность рад/В·с. Мгновенной частоте $\omega_{\text{ЧМ}}(t)$ соответствует полная фаза

$$\psi(t) = \int \omega_{\times i}(t) dt = \omega_0 t + K_{\times i} \int b(t) dt. \quad (1.11)$$

Формы сигналов ФМ и ЧМ не отличаются друг от друга, если производная первичного сигнала во времени имеет тот же вид, что и сам первичный сигнал. Это, в частности, выполняется при синусоидальном первичном сигнале

$$b(t) = U_{M\Omega} \sin \Omega t. \quad (1.12)$$

Сигнал УМ в этом случае можно записать в виде

$$u_{\delta i}(t) = U_{M0} \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t), \quad (1.13)$$

где m – так называемый индекс модуляции, который имеет смысл максимального приращения (девиации) фазы $\Delta\varphi$ (амплитуда изменения фазы, выраженная в радианах). С учетом (1.9) и (1.12) индекс фазовой модуляции

$$m_{\delta i} = \Delta\varphi = K_{\delta i} U_{M\Omega}. \quad (1.14)$$

С учетом (1.10) и (1.12) индекс частотной модуляции

$$m_{\times i} = \Delta\omega = K_{\times i} U_{M\Omega} / \Omega, \quad (1.15)$$

причем девиация частоты

$$\Delta\omega = K_{\times i} U_{M\Omega}. \quad (1.16)$$

Следовательно, индекс частотной модуляции

$$m_{\text{ЧМ}} = \Delta\omega / \Omega = \Delta f / F. \quad (1.17)$$

Спектр при угловой модуляции осуществляется одним тоном. Представим сигнал при угловой модуляции, осуществляемый одним тоном (1.13), выражением

$$u_{\delta i}(t) = U_{M0} \operatorname{Re}[e^{j\omega_0 t} e^{jm \sin \Omega t}]. \quad (1.18)$$

Известно разложение

$$e^{jm \sin x} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) e^{jkx}, \quad (1.19)$$

где $J_k(m)$ – функция Бесселя k – го порядка от аргумента m (m – любое вещественное число).

Справедливо соотношение

$$J_{-k}(m) = (-1)^k J_k(m). \quad (1.20)$$

Подставляя (1.19) в (1.18), получим

$$u_{\text{оі}}(t) = U_{M0} \operatorname{Re} \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) e^{j(\omega_0 + k\Omega)t} \right] = U_{M0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(m) \cos(\omega_0 + k\Omega)t. \quad (1.21)$$

Из свойств функции Бесселя известно, что чем больше порядок функции Бесселя, тем протяженнее область значений аргумента, при которых модуль этой функции очень мал [2,3]. Обычно считают, что можно пренебречь спектральными составляющими с номером $k > (m + 1)$. Таким образом, практически ширину полосы частот при тональной угловой модуляции находят приблизительно из соотношения

$$\Delta\omega_{\text{УМ}} = 2\Omega(1+m), \quad (1.22)$$

считая, что можно пренебречь спектральными составляющими, имеющими номера $k > m + 1$.

Надо помнить, что спектр УМ сигнала не ограничен. Или

$$\Delta f_{\text{УМ}} = 2F(1+m). \quad (1.23)$$

Практическая ширина полосы частот при УМ шире, чем при АМ, в $(m + 1)$ раз.

Если $m \ll 1$, то $\Delta f_{\text{УМ}} = 2F$, т.е., в амплитудно-частотном спектре сигнала УМ доминируют только несущая и две боковые составляющие (как при АМ), остальными можно пренебречь в силу малости. Этот результат следует из общей формулы (1.19) при $m \ll 1$. Действительно, из свойств функции Бесселя известно, что при малых индексах $J_0(m) \approx 1$, $J_1(m) \approx m/2$, $J_k(m) = 0$, при $k \geq 2$. Но тогда из (1.20) и (1.21) следует

$$u_{\text{оі}}(t) = U_{M0} \cos \omega_0 t + \frac{m}{2} U_{M0} \cos(\omega_0 + \Omega)t - \frac{m}{2} U_{M0} \cos(\omega_0 - \Omega)t. \quad (1.24)$$

Если $m \gg 1$ (этот случай представляет основной практический интерес, так как при больших m помехоустойчивость УМ существенно выше, чем АМ), то из (1.23) имеем приближенное соотношение

$$\Delta f_{\text{УМ}} \approx 2Fm. \quad (1.25)$$

Поскольку при частотной модуляции $m_{\text{ЧМ}} = \Delta f / F$, то из (1.25) получаем, что при больших индексах модуляции

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} \approx 2\Delta f, \quad (1.26)$$

т.е. ширина полосы частот при ЧМ равна удвоенной величине девиации частоты и не зависит от частоты модуляции F .

Одна из возможных схем реализации сигнала с УМ приведена ниже. Рассмотрим нелинейную схему, содержащую перемножители.

Используя формулу

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta, \quad (1.27)$$

представим (1.8) в виде

$$u_{\text{оГ}}(t) = U_{M0} \cos \varphi(b(t)) \cos \omega_0 t - U_{M0} \sin \varphi(b(t)) \sin \omega_0 t. \quad (1.28)$$

На рис.1.3 представлена структурная схема, реализующая УМ согласно формуле (1.28). На схеме первый нелинейный блок реализует преобразование сигнала $b(t)$ в сигнал $\cos \varphi[b(t)]$. Второй нелинейный блок реализует преобразование сигнала $b(t)$ в сигнал $\sin \varphi[b(t)]$. В блоке Γ_{ω_0} генерируется несущая $U_{M0} \cos \omega_0 t$. В блоке фазовращателя осуществляется поворот фазы на $-\pi/2$.

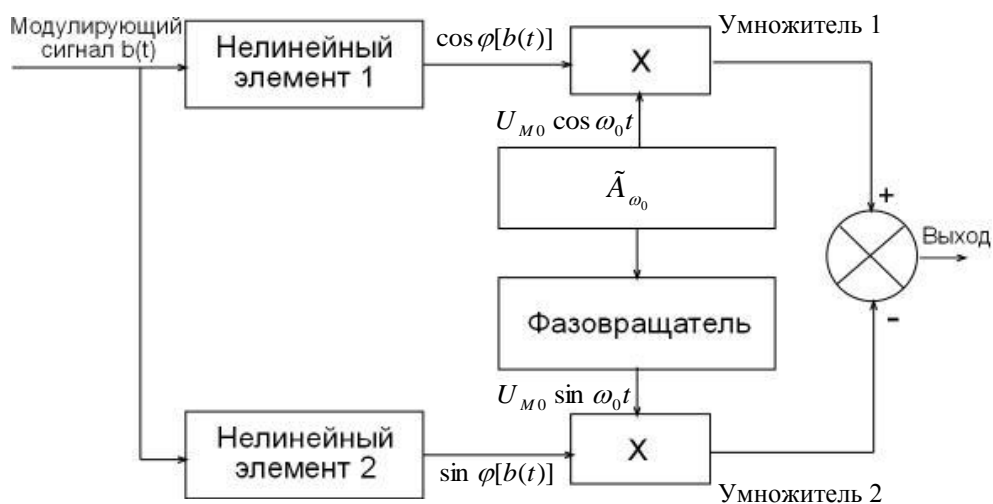


Рис.1.3. Схема угловой модуляции с нелинейными блоками и умножителями

4. Проведение лабораторного исследования

В соответствии с программой студентам предлагается исследовать схемы по формированию сигналов с амплитудной и угловой модуляцией. В программе предусмотрено изменение параметров, выбор модулирующего сигнала, вывод графиков и расчетных значений на информационное табло, а также стирание графиков и масштабирование по осям. Студент обязан сделать работу согласно своему варианту, выданному преподавателем. Выполняя работу, следует зарисовать исследуемую схему и графики сигналов, выводимых при нажатии на кнопки исследуемой схемы.

Формирование сигналов с амплитудной модуляцией

Таблица 1.1

Параметры	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Длительность процесса, с	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Амплитуда несущей, В	1.7	1.2	1	0.8	0.8	1	1.5
Частота несущей, Гц	20	25	30	35	40	45	50
Период модулирующего сигнала, с	0.4	0.5	0.6	1	0.9	0.8	0.7
Амплитуда модулирующего сигнала, В	1.2	1.4	0.7	0.8	1	1.2	1.6
Коэффициент затухания контура	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	0.2
Крутизна характеристики, мА/В	0.8	0.85	0.9	0.95	1	1.05	1.1
Кривизна характеристики, мА/В ²	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3

Кривизной вольтамперной характеристики называется вторая производная в рабочей точке характеристики или первая производная от

крутизны в той же точке. Например, ¹¹ если ВАХ прямой передачи транзистора параболична $i_k = aU_{\text{бэ}}^2$, то крутизна линейно зависит от

положения рабочей точки на ВАХ, $S = \frac{di_k}{dU_{\text{бэ}}} = 2aU_{\text{бэ}}$, а кривизна постоянна $\frac{dS}{dU_{\text{бэ}}} = 2a$.

Формирование сигналов с угловой модуляцией

Таблица 1.2

Параметры	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Длительность процесса, с	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2
Амплитуда несущей, В	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
Частота несущей, Гц	75	80	85	90	95	100	105
Период модулирующего сигнала, с	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Амплитуда модулирующего сигнала, В	7	6	5	4	7	6	5
Сдвиг фазы в фазовращателе	0	-30	-60	-90	-120	-150	-180
Коэффициент передачи НЭ1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
Коэффициент передачи НЭ2	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1

5. Отчет должен содержать:

- 5.1. Краткие теоретические сведения.
- 5.2. Иллюстрационные сведения.
- 5.3. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Что такое модуляция? Какие виды модуляции вы знаете?

6.2. Дайте определение модуляционной характеристике для АМ и УМ.

6.3. Укажите, как соотносятся мощности спектральных составляющих в спектре однотоновой АМ.

6.4. Поясните работу схемы АМ-модулятора.

6.5. В чем отличие фазовой модуляции от частотной?

6.6. Во сколько раз отличается практическая ширина полосы частот при УМ от полосы частот при АМ, если известно, что $F=1$ кГц, а индекс угловой модуляции $m=10$?

6.7. Изобразите схему УМ с нелинейными блоками и умножителями и поясните ее работу. Какой сигнал формируется на выходе, если модулирующий сигнал гармонический? Индекс угловой модуляции $m=10$. Запишите его математическую модель, если модулирующий сигнал гармонический.

6.8. Зарисуйте АЧС сигнала ЧМ с девиацией частоты $\Delta f = 10$ кГц, частотой модуляции $F = 2$ кГц, амплитудой $U_{m0} = 1$ В. Какова ширина спектра?

6.9. Зарисуйте АЧС сигнала ЧМ с девиацией $\Delta f = 80$ кГц, $F=2$ кГц, $U_{m0}=1$ В. Какова ширина спектра?

Литература

1. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994, с.75-90.

2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М. : Высшая школа, 2000, с. 291-294.

3. Иванов М.Т. и др. Теоретические основы радиотехники. М. : Высшая школа, 2002, с. 49-62.

4. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. (Компьютеризированный курс). М.: Форум – Инфра – М., 2005, с. 98-105, 281-286.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Преобразование частоты радиосигналов

1. Цель работы - изучение процесса преобразования частоты на основе одноконтурной схемы преобразователя на транзисторе.

2. Домашнее задание

2.1. Изучение теоретического материала по указанной ниже литературе.

2.2. Ознакомление с работой программы.

2.3. Ознакомление с индивидуальным заданием на выполнение лабораторной работы.

3. Основные теоретические сведения

Под преобразованием частоты радиосигнала понимают такое нелинейное преобразование его, в результате которого спектр сигнала без изменения структуры переносится обычно из области высоких частот в область более низких частот. Новая частота, на которой теперь расположен спектр сигнала, называется промежуточной частотой.

Очевидно, что сигнал на промежуточной частоте может быть получен только как комбинационное колебание в результате взаимодействия в нелинейном элементе двух колебаний с отличающимися частотами.

Отсюда следует, что в состав преобразователя частоты (смесителя) должны входить три устройства (рис. 2.1): перестраиваемый гетеродин-местный источник высокочастотных гармонических колебаний с частотой ω_r , отличной от частоты входного сигнала на $\omega_{i\partial}$; нелинейный элемент, спектр выходного тока которого содержит полезную комбинационную составляющую, и селективный фильтр, выделяющий требуемую комбинационную составляющую на промежуточной частоте. Обычно это $\omega_{i\partial} = \omega_{\bar{n}} - \omega_{\bar{A}}$.

$$\text{Вход: } U_{MC} \cos \omega_c t. \quad \text{Выход: } \frac{KU_{MC}U_{MГ}}{2} \cos(\omega_c - \omega_r)t.$$

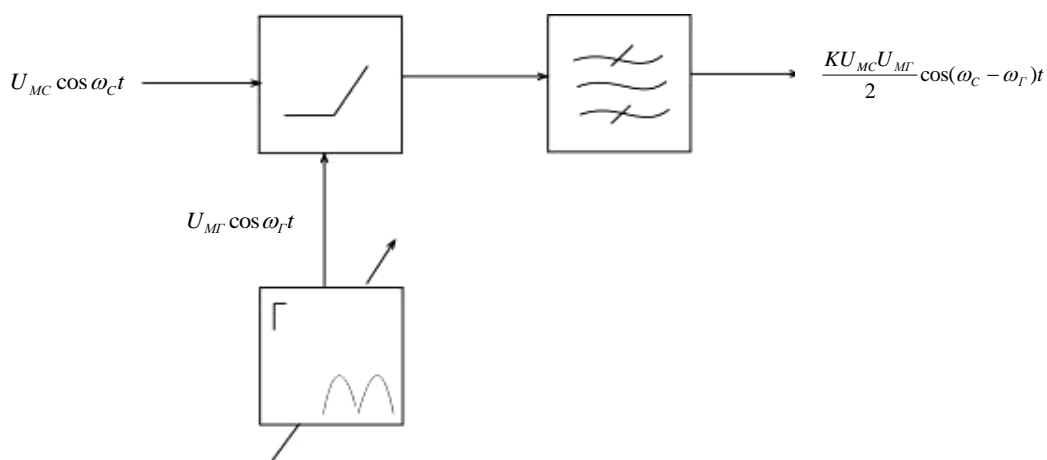


Рис 2.1 Структурная схема преобразователя частоты

В полиноме, описывающем ВАХ НЭ, должно обязательно находиться квадратичное слагаемое $a_2 U^2$. Действительно, пусть ВАХ описывается полиномом второй степени $i = a_0 + a_1 U + a_2 U^2$, a_1 -крутизна в рабочей точке, a_2 -кривизна,

$$\begin{aligned} i(t) &= a_0 + a_1(U_{MC} \cos \omega_c t + U_{MF} \cos \omega_r t) + a_2(U_{MC} \cos \omega_c t + U_{MF} \cos \omega_r t)^2 = \\ &= a_0 + a_1(U_{MC} \cos \omega_c t + U_{MF} \cos \omega_r t) + a_2 U_{MC}^2 \cos^2 \omega_c t + a_2 U_{MF}^2 \cos^2 \omega_r t \\ &\quad + a_2 2U_{MC}U_{MF} \cos \omega_c t \cos \omega_r t. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Последнее слагаемое в (2.1) является полезным продуктом преобразования напряжений сигнала и гетеродина

$$\begin{aligned} i_{\text{пол}}(t) &= a_2 2U_{MC}U_{MF} \cos \omega_c t \cos \omega_r t = a_2 U_{MC}U_{MF} \cos(\omega_c - \omega_r)t + \\ &\quad + a_2 U_{MC}U_{MF} \cos(\omega_c + \omega_r)t. \end{aligned} \quad (2.2)$$

Первое слагаемое – перенос частоты сигнала «вниз», а второе – «вверх». Выделяя узкополосным фильтром первое слагаемое, получим ток на промежуточной частоте

$$i_{\text{np}}(t) = a_2 U_{MC}U_{MF} \cos(\omega_c - \omega_r)t. \quad (2.3)$$

Если входное напряжение амплитудно-модулировано

$$u_c(t) = U_{MC}(1 + M \cos 2\pi Ft) \cos \omega_c t, \quad (2.4)$$

то, подставляя меняющуюся амплитуду из (2.4) в (2.3), получим выражение для тока полезной составляющей на частоте $\omega_c - \omega_r$

$$\begin{aligned} i_{\text{np}}(t) &= a_2 U_{MC}U_{MF}(1 + M \cos 2\pi Ft) \cos(\omega_c - \omega_r)t = \\ &= a_2 U_{MC}U_{MF}(1 + M \cos 2\pi Ft) \cos \omega_{\text{np}}t, \end{aligned} \quad (2.5)$$

Используя (2.1) и формулы преобразования тригонометрических функций, приведенные в приложении к работе, можно получить приближенную картину спектра тока на выходе НЭ.

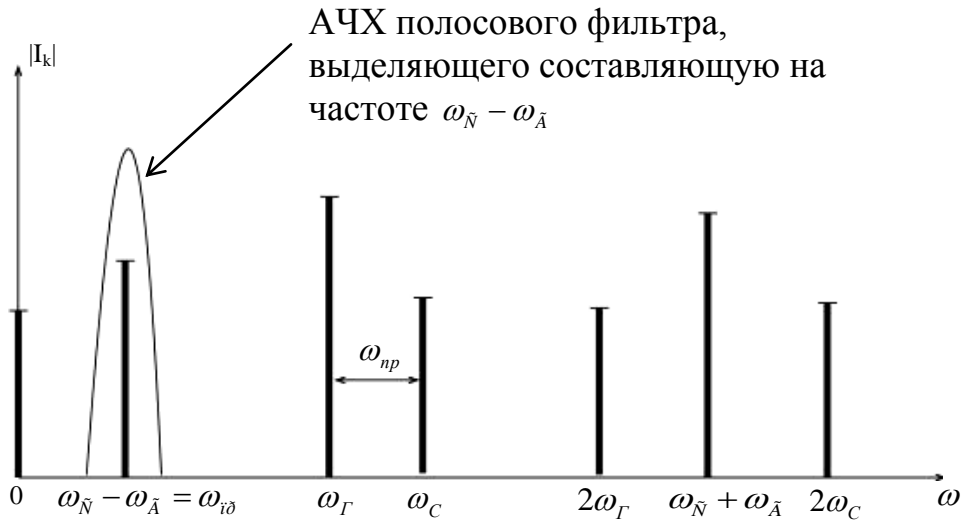


Рис. 2.2. Спектр тока на выходе НЭ преобразователя частоты

Наибольшее значение составляющей тока на промежуточной частоте получается тогда, когда побочные составляющие минимальны.

Для реализации преобразователя частоты в качестве нелинейного элемента целесообразно использовать полевой транзистор, у которого стокзатворная характеристика по форме близка к параболе.

В качестве нагрузки нелинейного элемента (транзистора) используется параллельный колебательный контур (рис. 2.3), для параллельного колебательного контура входное сопротивление

$$\dot{Z}(\omega) = \frac{1}{\dot{G}} = \frac{1}{1/R_{pez} + j(\omega C - 1/\omega L)}. \quad (2.6)$$

В области малых расстроек, учитывая, что резонансное сопротивление параллельного контура $R_{pez} = \rho Q$, (где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ – характеристическое сопротивление, $Q = \frac{\rho}{R}$ – добротность контура), получаем при резонансной промежуточной частоте $\omega_{np} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$$\dot{Z}(\omega) = \frac{R_{d\dot{a}c}}{1 + j\theta_k(\omega - \omega_{id})}, \quad (2.7)$$

где $\theta_k = 2Q/\omega_{np}$ – постоянная времени контура.

Амплитуда напряжения на контуре

$$U_{MK}(t) = a_2 U_{i\bar{N}} U_{i\bar{A}} R_{\delta\dot{a}\dot{c}} [1 + M_{\dot{a}\dot{a}\dot{o}} \cos(\Omega t - \arctg \Omega \theta_k)], \quad (2.8)$$

где коэффициент $M_{\text{ВЫХ}}$ по напряжению на контуре

$$M_{\text{вых}} = \frac{M}{\sqrt{1 + \theta_k^2 \Omega^2}} < M. \quad (2.9)$$

Это значит, что глубина модуляции сигнала на выходе меньше, чем на входе, и огибающая на выходе отстает по фазе от огибающей на входе на УГОЛ $\varphi = \arctg 2\pi F \theta_k$.

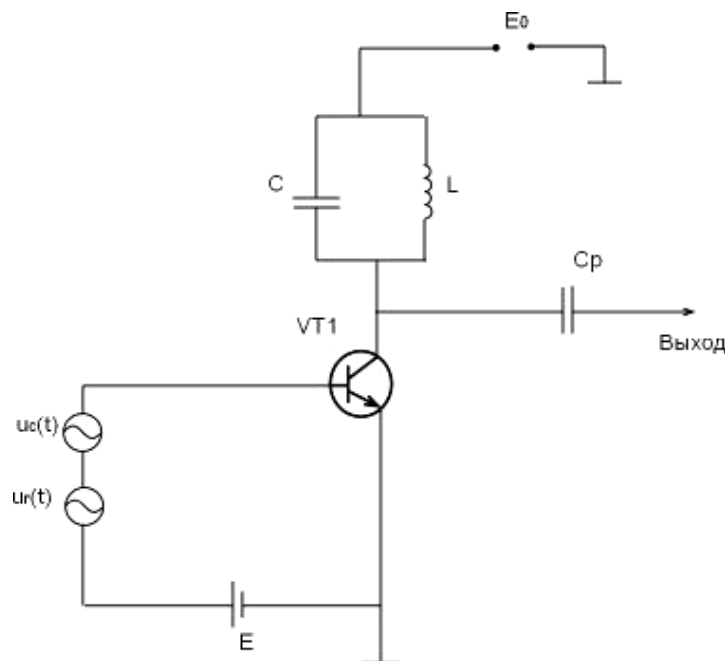


Рис. 2.3. Однотактная схема преобразования частоты

4. Проведение лабораторного исследования

В соответствии с программой студентам предлагается исследовать однотактную схему преобразования частоты. В программе предусмотрено изменение параметров, выбор модуляции несущей, вывод графиков и расчетных значений на экране, а также стирание графиков и

масштабирование по осям. Студент¹⁷ обязан сделать работу согласно своему варианту, выданному преподавателем. Выполняя работу, следует

зарисовать исследуемую схему и графики сигналов, выводимых при нажатии на кнопки исследуемой схемы.

Преобразование частоты сигналов

Таблица 2.1

Параметры	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Длительность процесса, с	0.4	0.35	0.30	0.45	0.5	0.6	0.7
Амплитуда несущей, В	1	0.8	0.6	0.85	0.65	0.5	1.2
Частота несущей, Гц	1000	1025	1050	1100	975	950	925
Частота гетеродина, Гц	900	925	950	1000	875	850	825
Частота модулирующего сигнала, Гц	5	5.5	6	4.5	4	5	4
Амплитуда сигнала гетеродина, В	1	0.6	0.8	0.65	0.9	0.7	0.75
Коэффициент модуляции	0.5	0.55	0.6	0.7	0.65	0.5	0.55
Собственная частота контура, Гц	100	95	100	105	110	90	100
Коэффициент затухания контура	0.04	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.05
Крутизна характеристики, мА/В	0.1	0.15	0.2	0.2	0.2	0.15	0.1
Кривизна характеристики, мА/В ²	1	0.75	0.7	0.9	0.95	0.8	0.85

5. Отчет должен содержать:

- 5.1. Краткие теоретические сведения.
- 5.2. Иллюстрационные сведения.
- 5.3. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. В чем заключается суть преобразования частоты сигналов?
- 6.2. Какие колебания принято называть комбинационными?
- 6.3. Каковы причины возможного появления искажений колебаний на выходе преобразователя частоты?
- 6.4. Изобразите одноктактную схему преобразования частоты и поясните ее работу.
- 6.5. Можно ли построить преобразователь частоты, если ВАХ транзистора аппроксимирована $i = a_0 u + a_3 u^3$?

Литература

1. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994, с. 219-221, 240-242.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000, с. 307-310.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Дрофа, с. 356-360.
4. Сергеев В.Г. Устройства приема и цифровой обработки сигналов. Преобразователи частоты, МИИГА, 1996.

Приложение

Вспомогательные формулы:

$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\alpha$$

$$\cos^3 \alpha = \frac{1}{4} (3 \cos \alpha + \cos 3\alpha)$$

$$\sin^3 \alpha = \frac{1}{4} (3 \sin \alpha - \sin 3\alpha)$$

$$\cos^4 \alpha = \frac{3}{8} + \frac{1}{2} \cos 2\alpha + \frac{1}{8} \cos 4\alpha$$

$$\sin^4 \alpha = \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2\alpha + \frac{1}{8} \cos 4\alpha$$

$$\cos \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Детектирование сигналов с амплитудной и угловой модуляцией

1. Цель работы - изучение процесса детектирования сигналов с амплитудной и угловой модуляцией на основе схем коллекторного и фазового детекторов.

2. Домашнее задание

- 2.1. Изучение теоретического материала.
- 2.2. Ознакомление с работой программы.
- 2.3. Ознакомление с индивидуальным заданием на выполнение лабораторной работы.

3. Основные теоретические сведения

Детектирование колебаний заключается в выделении сигнала, пропорционального закону изменения того параметра модулированного колебания, в котором заключена передаваемая информация. Детектирование является процессом, обратным процессу модуляции. В соответствии с основными видами модуляции различают амплитудное, частотное и фазовое детектирование.

На вход любого детектора подается модулированное колебание, содержащее только высокочастотные составляющие: несущее колебание и колебания боковых частот. На выходе выделяется сигнал с низкочастотным спектром передаваемого сообщения. Следовательно, детектирование сопровождается трансформацией частотного спектра и не может быть осуществлено без применения нелинейных элементов или линейных элементов с переменными параметрами.

Если рассмотреть коллекторный детектор, то для того, чтобы нагрузка в коллекторной цепи выполняла роль ФНЧ (для выделения полезного продукта детектирования), должны выполняться условия:

$$\frac{1}{\omega_0 C} \ll R \ll \frac{1}{\Omega C}, \omega_0 \ll \Omega. \quad (3.1)$$

Будем считать, что за счет додетекторного усиления АМ сигнал в цепи базы достаточно интенсивен для того, чтобы можно использовать кусочно-линейную аппроксимацию ВАХ $i_k = f(u_{бэ})$ (рис 3.1).

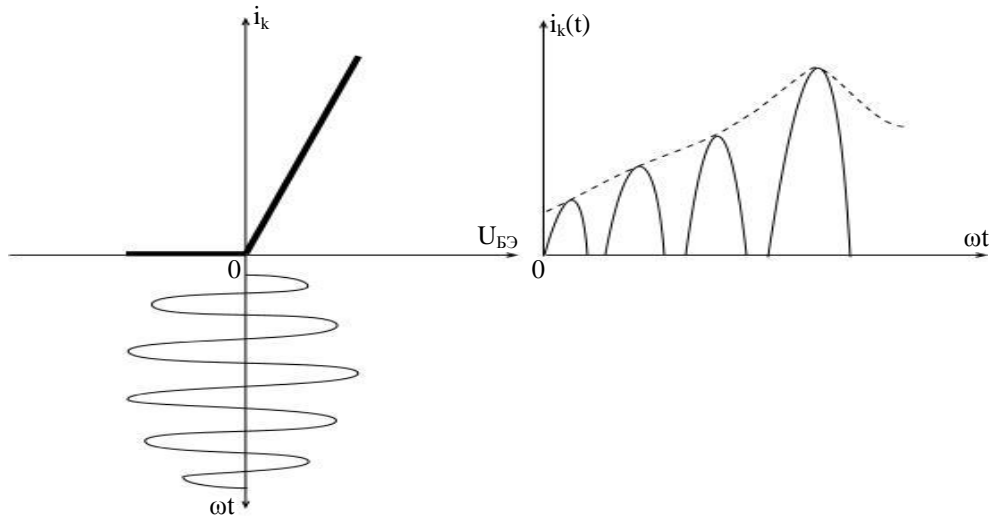


Рис 3.1. Кусочно-линейная аппроксимация ВАХ транзистора и форма коллекторного тока

Если начальное напряжение (напряжение отсечки) близко к нулю, то ВАХ транзистора можно аппроксимировать $i_k = \frac{S}{2}(U_{бэ} + |U_{бэ}|)$. Рассмотрим воздействие на вход АМ – сигнала с однотоновой модуляцией

$$u_{AY}(t)_{Al} = U_{M0}(1 + M \cos 2\pi Ft) \sin \omega_0 t. \quad (3.2)$$

Коллекторный ток транзистора будет равен

$$i_k(t) = \frac{S}{2} U_{M0} (1 + M \cos 2\pi Ft) \sin \omega_0 t + \frac{S}{2} U_{M0} |(1 + M \cos 2\pi Ft) \sin \omega_0 t|. \quad (3.3)$$

Первое слагаемое - исходный высокочастотный АМ - сигнал отфильтровывается фильтром НЧ нагрузки.

Второе слагаемое с учетом того, что $M \leq 1$ и $1 + M \cos 2\pi Ft \geq 0$, можно записать

$$\frac{S}{2} U_{M0} |(1 + M \cos 2\pi Ft) \sin \omega_0 t| = \frac{S}{2} U_{M0} (1 + M \cos 2\pi Ft) |\sin \omega_0 t|. \quad (3.4)$$

Составляющая $|\sin \omega_0 t|$ представляет собой периодическую четную последовательность полусинусоидальных импульсов со скважностью $N = 1$, и в соответствии с теорией рядов Фурье для нее можно записать

$$|\sin \omega_0 t| = \frac{2}{\pi} - \sum_{K=1}^{\infty} A_2 K \cos 2K\omega_0 t, \quad (3.5)$$

где $A_2 K = \frac{4}{\pi} \frac{1}{4K^2 - 1}$. (3.6)

Подставляя формулу (3.5) в исходное выражение (3.4), получим

$$\begin{aligned} & \frac{S}{2} U_{M0} (1 + M \cos 2\pi Ft) \left(\frac{2}{\pi} - \sum_{K=1}^{\infty} A_2 K \cos 2K\omega_0 t \right) = \\ & = \frac{S}{\pi} U_{M0} + \frac{S}{\pi} M U_{M0} \cos 2\pi Ft - \frac{S}{2} U_{M0} \sum_{K=1}^{\infty} A_2 K (1 + M \cos 2\pi Ft) \cos 2K\omega_0 t. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Второе слагаемое представляет собой полезный эффект детектирования. Вид получившегося АЧС тока приведен на рис.3.2.

При этом для полезного продукта с низкой частотой Ω сопротивление нагрузки практически равно R , а для ненужных высокочастотных компонент оно близко к нулю (рис 3.2).

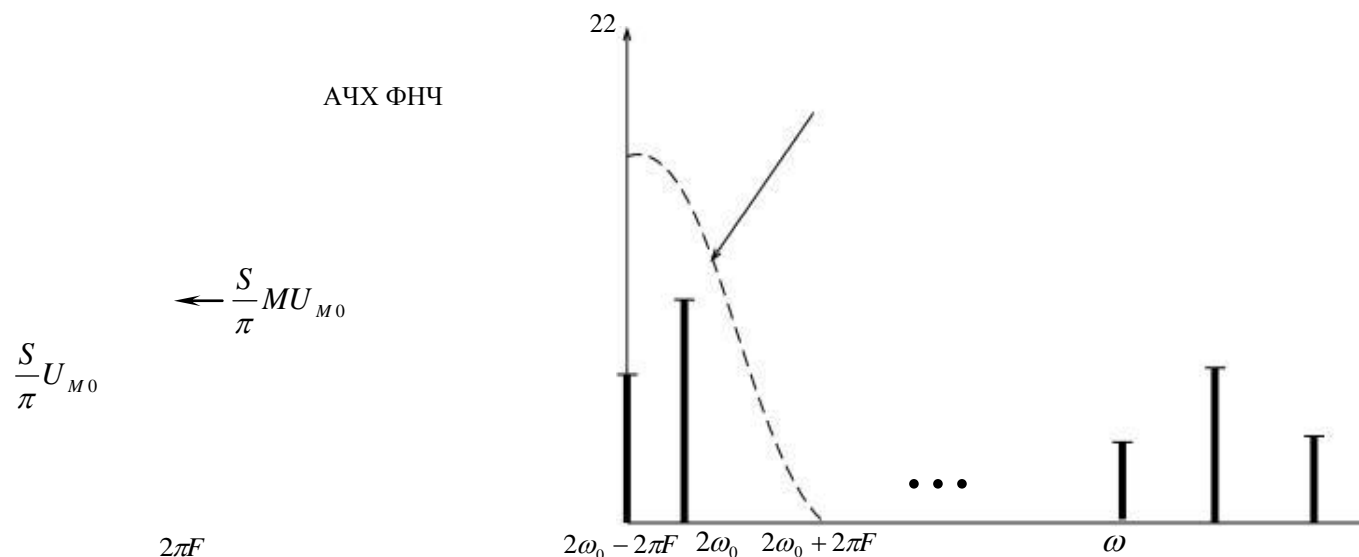


Рис. 3.2 Спектр тока коллекторного детектора

Отметим, что полезный сигнал на выходе детектора повторяет форму огибающей входного сигнала. Такой детектор называют

линейным, он не вносит искажений в передаваемое сообщение. Напряжение на выходе после разделительной емкости C_p (постоянная составляющая преддетектированного сигнала отсутствует)

$$u_{\text{аао}}(t) = \frac{SR}{\pi} U_{M0} M \cos 2\pi Ft. \quad (3.8)$$

Если на входе нелинейного детектора имеется слабый сигнал, то характеристику $i_k = f(u_{\text{аы}})$ приходится аппроксимировать квадратичной зависимостью $i_k = a_2 U^2_{\text{аы}}$. При $u_{\text{аы}}(t) = U_M(t) \cos \omega_0 t$ имеем $i_k(t) = a_2 U^2_M(t) (0.5 + 0.5 \cos 2\omega_0 t)$.

Напряжение на коллекторной нагрузке $u_i(t) = 0.5 a_2 R U_i^2(t)$ не повторяет форму огибающей АМ сигнала, следовательно, возникают искажения при детектировании. Так при модуляции одним тоном ($U_M(t) = U_{M0} + U_{M\Omega} \cos \Omega t$) в составе сигнала $u_H(t)$ имеются как полезная составляющая частоты Ω , так и вторая гармоника этой частоты 2Ω , т.е. имеют место нелинейные искажения полезного сообщения. Такой детектор называется квадратичным.

Коэффициент передачи детектора при гармонической модуляции – отношение амплитуды низкочастотного напряжения на нагрузке U_{MH} к приращению вызвавшего его, модулированного высокочастотного напряжения на входе детектора $K_a = \frac{U_{\text{и}}}{MU_{M0}}$.

Детекторная характеристика АМ-детекторов - зависимость приращения постоянного напряжения на нагрузке от приращения амплитуды входного гармонического колебания.

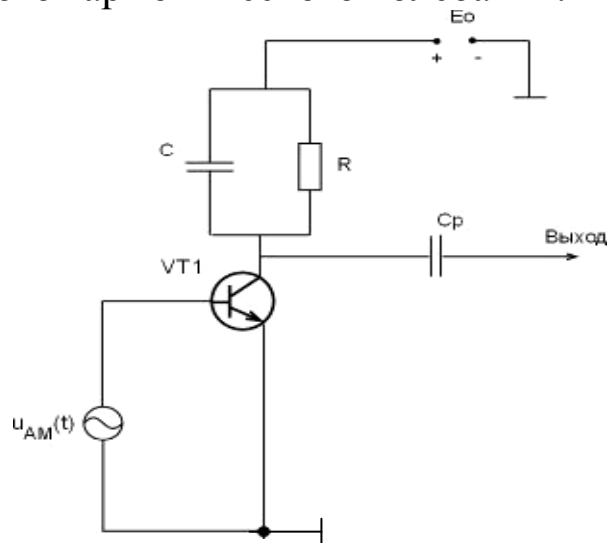


Рис.3.3. Схема детектирования амплитудной модуляции (коллекторный детектор)

Выделение информации, содержащейся в $\varphi(t) = k_{\phi m} b(t)$, возможно, если известны все остальные параметры сигнала.

В подавляющем большинстве фазовые детекторы используют специально генерируемое гармоническое опорное колебание с частотой, равной частоте сигнала, и с начальной фазой, обеспечивающей наилучшее условие выделения полезного сигнала из $\varphi(t)$.

Структурная схема фазового детектора состоит из перемножителя сигнала и опорного напряжения и фильтра нижних частот, который необходим для выделения полезного низкочастотного модулирующего сигнала.

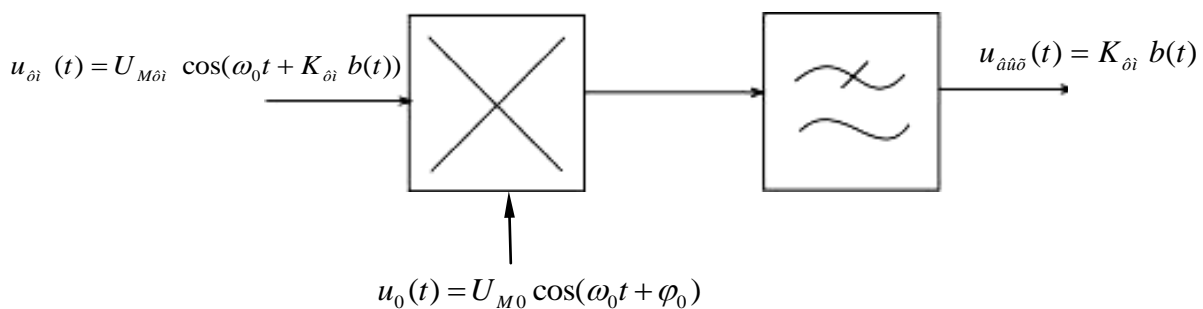


Рис.3.4. Структурная схема фазового детектора

В данной работе фазовый детектор построен по схеме коллекторного детектора с тремя источниками в цепи базы (рис.3.5) (смещения E , сигнала $u_{\delta i}(t) = U_{M\delta i} \cos(\omega_0 t + K_{\delta i} b(t))$ и опорного колебания $u_0(t) = U_{M0} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$). Считаем, что характеристику $i_k = f(u_{\delta i})$ можно аппроксимировать квадратичной зависимостью. Возводя входной сигнал в квадрат, получим

$$i_k(t) = a_2(u_{\phi M}(t) + u_0(t))^2 = 2a_2u_0(t)u_{\phi M}(t) + a_2u_0^2(t) + a_2u_{\phi M}^2(t). \quad (3.9)$$

Полезное напряжение на коллекторной нагрузке определяется первым слагаемым $2a_2u_0(t)u_{\delta i}(t) = U_{M\delta i} 2a_2U_{M0} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \cos[\omega_0 t + K_{\delta i} b(t)] =$
 $= a_2U_{M\delta i} U_{M0} \cos[\varphi_0 - K_{\delta i} b(t)] + a_2U_{M\delta i} U_{M0} \cos[2\omega_0 t + \varphi_0 + K_{\delta i} b(t)].$ (3.10)

Второе слагаемое отфильтровывается ФНЧ.

Тогда напряжение на выходе $u_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}}(t) = a_2U_{M\delta i} U_{M0} R \sin[K_{\delta i} b(t)]$ (при $\varphi_0 = 90^\circ$), и при условии, что $[K_{\phi M} b(t)]$ мало, получим $u_{\hat{a}\hat{a}\hat{o}}(t) \approx a_2U_{M\delta i} U_{M0} RK_{\delta i} b(t)$.

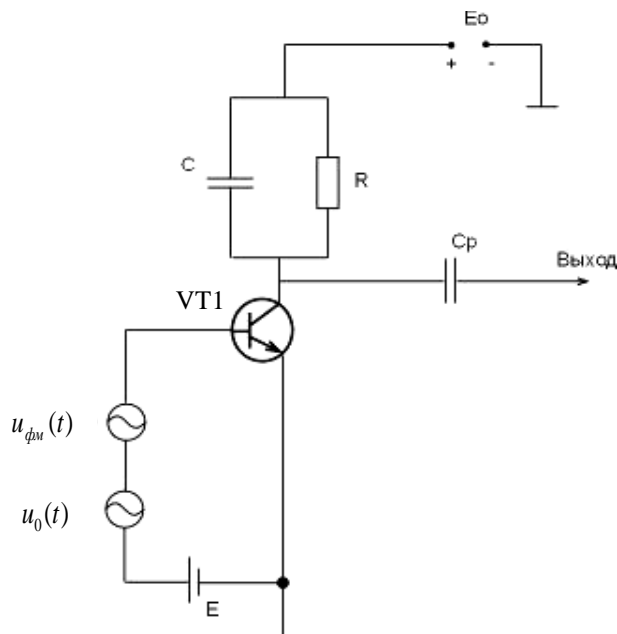


Рис.3.5. Схема детектирования угловой модуляции (фазовый детектор)

4. Проведение лабораторного исследования

В соответствии с программой студентам предлагается исследовать процесс детектирования сигналов с амплитудной и угловой модуляцией на основе схем коллекторного и фазового детекторов. В программе предусмотрено изменение параметров, выбор модулирующего сигнала, вывод графиков и расчетных значений на информационное табло, а также стирание графиков и масштабирование по осям. Студент обязан сделать работу согласно своему варианту, выданному преподавателем. Выполняя работу, следует зарисовать исследуемую схему и графики сигналов, выводимых при нажатии на кнопки исследуемой схемы.

Детектирование сигналов с амплитудной модуляцией (коллекторный детектор)

Таблица 3.1

Параметры	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Длительность процесса, с	1	0. 95	0 .9	1. 05	1 .1	1. 15	1. 2
Амплитуда несущей, В	1	1. 1	1 .2	1. 3	0 .9	0. 8	0. 7
Частота несущей, Гц	1 00	1 10	1 20	9 5	9 0	8 5	1 15
Период модулирующего сигнала, с	0 .4	0. 35	0 .3	0. 45	0 .5	0. 6	0. 7
Амплитуда модулирующего сигнала, В	0 .5	0. 6	0 .7	0. 8	1	0. 3	0. 55
Крутизна характеристики, мА/В	1	0. 9	0 .8	0. 7	0 .6	1. 1	1. 2
Кривизна характеристики,	1	1.	1	0.	0	0.	0.

мА/В ²		2	.1	6	.7	8	9
-------------------	--	---	----	---	----	---	---

Кривизной характеристики называется производная крутизны в рабочей точке или вторая производная от вольтамперной характеристики в той же рабочей точке.

Например, если ВАХ нелинейного элемента в рабочем диапазоне токов и напряжений имеет вид $i=ku^2$, то крутизна $S=di/du=2ku$ – линейна, а кривизна $dS/du=2k=const$.

Так, например, кривизна стокозатворной характеристики полевого транзистора близка к константе. Размерность кривизны ВАХ транзисторов мА/В².

Детектирование сигналов с угловой модуляцией (фазовый детектор)

Таблица 3.2

Параметры	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Длительность процесса, с	1	1.2	1.15	1.1	1.05	0.9	0.95
Амплитуда несущей, В	1	0.7	0.8	0.9	1.3	1.2	1.1
Частота несущей, Гц	100	90	120	110	85	95	100
Период модулирующего сигнала, с	0.4	0.5	0.7	0.6	0.8	0.9	1.2
Амплитуда модулирующего сигнала, В	0.8	0.9	1	1.1	0.5	0.6	0.7
Фазовый сдвиг опорного сигнала, град	90	85	80	75	95	100	105
Амплитуда опорного сигнала, В	1	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
Кривизна характеристики, мА/В ²	1	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95

5. Отчет должен содержать:

- 5.1. Краткие теоретические сведения.
- 5.2. Иллюстрационные сведения.
- 5.3. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. В чем заключается суть детектирования колебаний?
- 6.2. Какие условия должны выполняться для того, чтобы нагрузка в коллекторной цепи детектора выполняла роль ФНЧ?
- 6.3. Дайте определение детекторной характеристики.
- 6.4. Дайте определение коэффициенту передачи детектора.
- 6.5. Изобразите схему коллекторного детектора при детектировании АМ и поясните ее работу. Зарисуйте эпюры напряжений на базе и коллекторе транзистора, на его выходе после конденсатора C_p .
- 6.6. Изобразите схему фазового детектора при детектировании УМ и поясните ее работу.

Литература

1. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1994, с. 231-239.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000, с. 282-283, 294-297, 298-300.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Дрофа, 2006, с.341-351.
4. Сергеев В.Г. Детектирование радиосигналов. М.: МГТУ ГА, 1996, с. 3-5, 33-37.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Автокорреляционные функции прямоугольных сигналов

1. Цель работы - исследование основных свойств автокорреляционных функций последовательностей пачек прямоугольных импульсов.

2. Основные теоретические положения

Для описания свойств сигналов недостаточно знать только их временные и частотные характеристики, а часто требуется установить связь (корреляцию) между мгновенными значениями сигнала в различные моменты времени.

Такая связь обнаруживается, если сравнивать сигнал $S(t)$ с его копией $S(t \pm \tau)$, смещенной относительно оригинала на интервал τ .

Количественной оценкой степени связи (отличия) сигнала $S(t)$ и его сдвинутой копии $S(t \pm \tau)$ является автокорреляционная функция (АКФ).

АКФ для сигнала конечной длительности и энергии записывается в виде интегральной связи

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t)S(t-\tau)dt . \quad (4.1)$$

По своему физическому смыслу АКФ (4.1) является взаимной энергией сигнала и его сдвинутой копии.

Если в (4.1) положить $\tau=0$, АКФ достигнет максимального значения, равного энергии сигнала E_S

$$B(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} S^2(t)dt = E_S . \quad (4.2)$$

Именно такая энергия выделяется в резисторе с сопротивлением 1 Ом, если к его выводам подключить напряжение $S(t)$.

Простейшим свойством АКФ является ее четность $B(\tau) = B(-\tau)$. Действительно, если в подынтегральном выражении (4.1) провести замену переменной $x = t - \tau$, то

$$\int_{-\infty}^{+\infty} S(t)S(t-\tau)dt = \int_{-\infty}^{+\infty} S(\tau+x)S(x)dx ,$$

и поэтому интеграл можно переписать и так

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t)S(t+\tau)dt . \quad (4.3)$$

Это значит, что АКФ не зависит от знака взаимного относительного сдвига τ сигнала и копии. АКФ четная функция сдвига τ .

Определим АКФ одиночного прямоугольного видеоимпульса.

На рис. 4.1 показаны исследуемый сигнал, его сдвинутая копия, произведение сигнала и копии. Для данного τ , как это следует из формулы для $B(\tau)$, АКФ равна площади заштрихованного прямоугольника (рис.4.1). Действительно, выражения для сигнала и его копии соответственно равны

$$S(t) = U \text{ при } 0 \leq t \leq t_u, \quad S(t-\tau) = U \text{ при } \tau \leq t \leq t_u + \tau .$$

Произведение сигнала на копию $S(t)S(t-\tau) = U^2$ при $\tau \leq t \leq t_u$, откуда

$$B(\tau) = \int_{\tau}^{t_u} U^2 dt = U^2(t_u - |\tau|) \text{ с учетом четности АКФ.}$$

Начальное значение АКФ $B(0) = E_S = U^2 t_u$. График $B(\tau)$ приведен на рис.4.1.

Так как энергия периодического сигнала E_S бесконечна, то за автокорреляционную функцию периодического сигнала можно принять среднее за период значение произведения $S(t)S(t-\tau)$ или $S(t+\tau)S(t)$.

$S(t)$

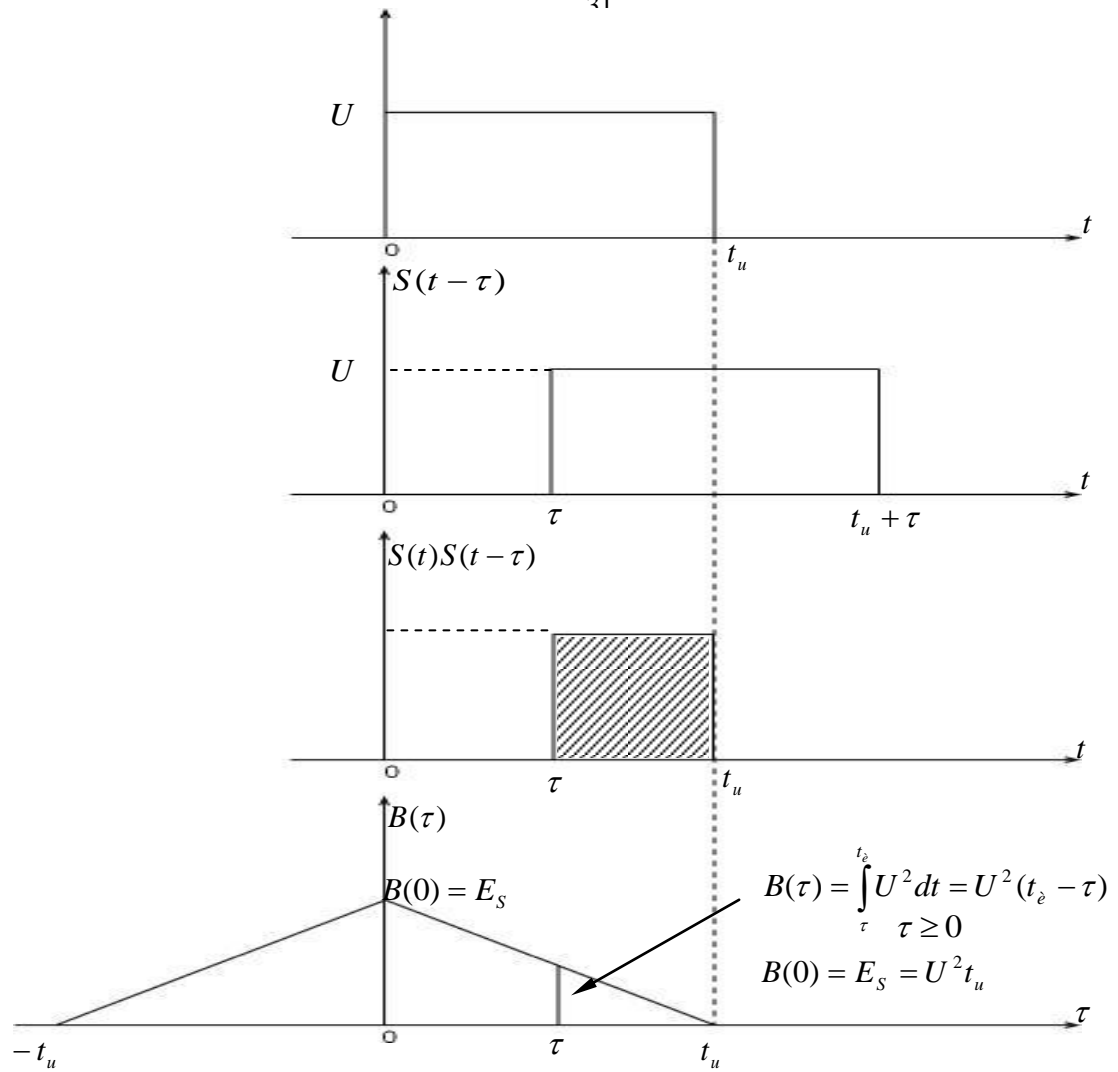


Рис 4.1. АКФ импульса

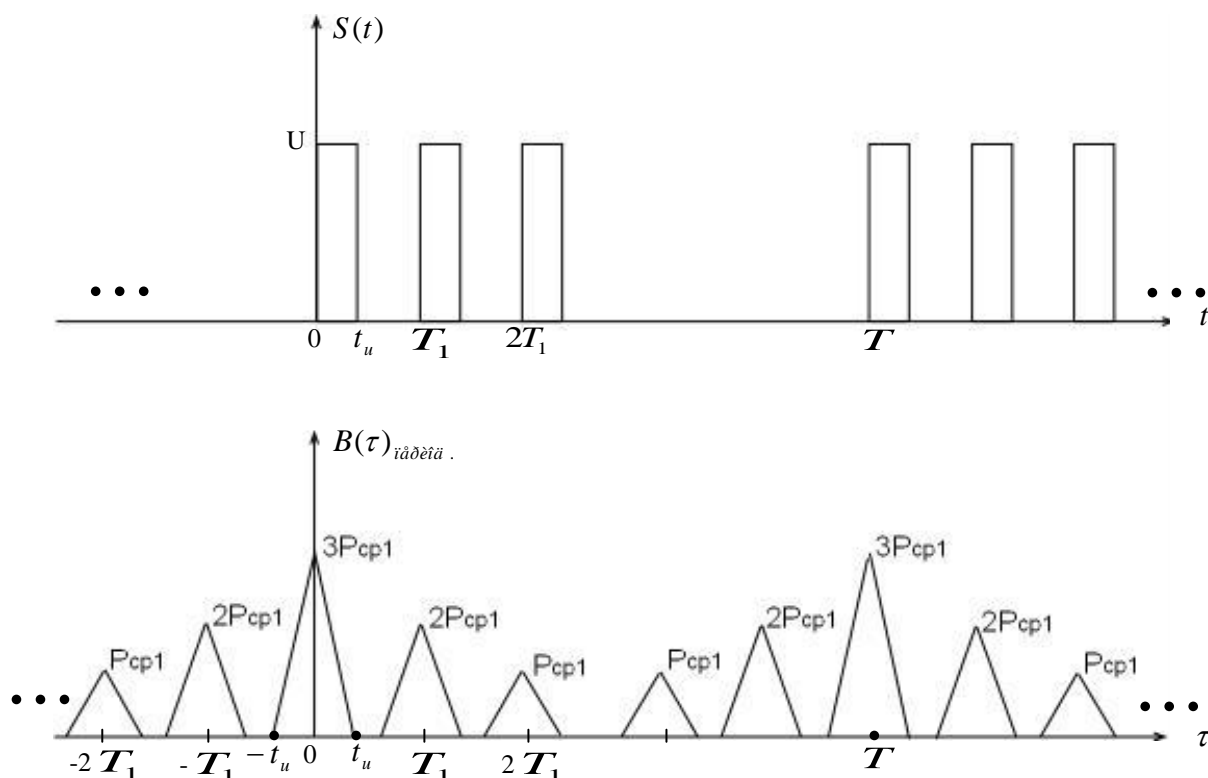


Рис 4.2. АКФ периодической последовательности пачек прямоугольных импульсов

Так как АКФ определяется на интервале времени, равном периоду сигнала, то на всем интервале времени $[-\infty < t < \infty]$ она является также периодической функцией с тем же периодом T . Максимальное значение равно средней мощности периодического сигнала за период и имеет размерность B^2 или A^2

$$B(0)_{\text{период}} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S^2(t) dt = P_{cp} . \quad (4.4)$$

На рис. 4.2 приведен график АКФ периодического сигнала в виде пачек трех импульсов, повторяющихся через интервал времени T . Внутри пачки период следования равен T_1 . Как видно из рисунка, максимальное

значение АКФ равно трем средним мощностям $3P_{cp1}$ одного импульса

$$B(0) = 3P_{\text{пол}} = 3 \frac{U^2}{T} t_{\text{д}}.$$

Из определения АКФ периодического сигнала следует, что АКФ будет периодической функцией с тем же периодом, но не времени, а задержки τ . Для нашего случая период АКФ будет совпадать с периодом повторения T пачек импульсов, а внутри этого периода «пики» АКФ будут повторяться через интервал задержки T_1 - период следования импульсов в пачке (рис. 4.2).

3. Описание лабораторной установки

Для исследования корреляционной функции периодических последовательностей видеосигналов используется специальная электронная схема, называемая коррелятором. Напряжение на выходе коррелятора пропорционально значению автокорреляционной функции для данного значения интервала τ - сдвига между сигналом и его копией.

Установка реализует алгоритм, описываемый формулой (4.1), и поэтому называется коррелятором. Структурная схема установки приведена на рис. 4.3.

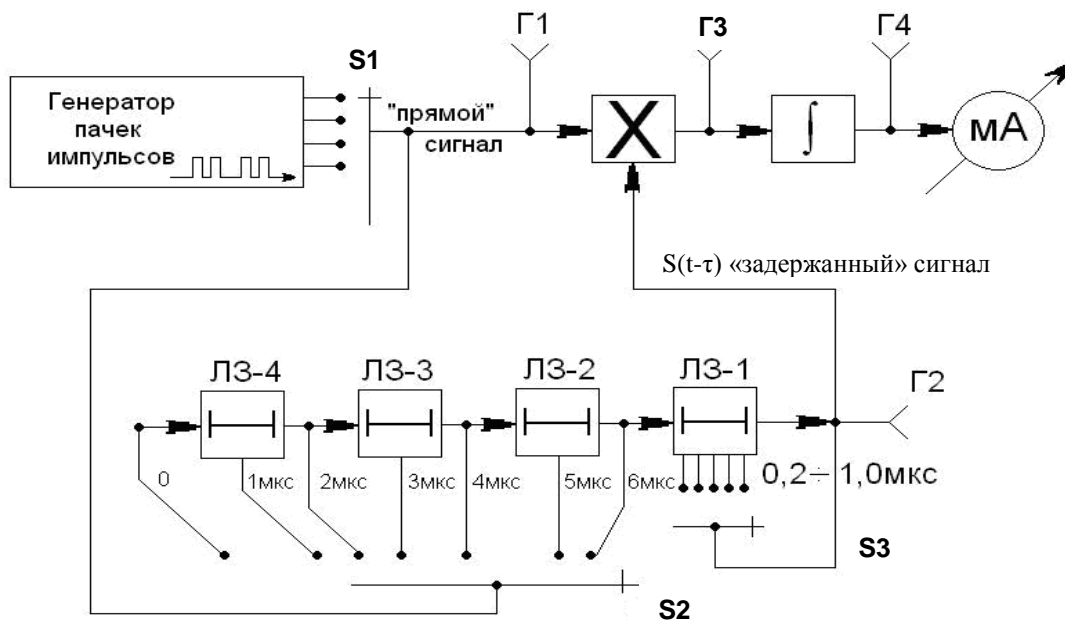


Рис. 4.3. Структурная схема лабораторной установки

Лабораторный макет состоит из генератора пачек импульсов, содержащих 1, 2, 3 или 4 импульса в пачке (рис. 4.3). Количество

импульсов в пачке определяется положением переключателя S_1 . Копия сигнала $s(t-\tau)$ формируется с помощью линий задержки ЛЗ1-ЛЗ4.

Переключатель S_2 позволяет изменять задержку ступенями через 1 мкс, т.е. от 0 до 6 мкс. С помощью переключателя S_3 возможно скачкообразное изменение через 0,2 мкс. ЛЗ-1 - нониусная линия задержки. Общая задержка в «задержанном канале» равна 7 мкс. Сигналы $S(t)$ и $S(t-\tau)$ поступают на перемножитель и далее на интегратор. Ток на выходе последнего измеряется микроамперметром. Форма сигналов в лабораторной установке может наблюдаться с помощью осциллографа, подключаемого к одному из контрольных гнезд на базовом блоке (Г1-Г4).

4. Контрольно-измерительная аппаратура

4.1. Осциллограф.


4.2. Лабораторный макет.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Включаем питание на лабораторной установке и осциллографе.

5.2. Калибровка лабораторной установки.

5.2.1. Переключатель S_1 ставим в положение «4». Переключатели S_2 и S_3 - в положение «0».

5.2.2. На вход осциллографа подаем сигнал из гнезда Г1 и наблюдаем пачку из 4-х прямоугольных импульсов. При пропадании импульсов на экране необходимо нажать кнопку «Запуск ».

Измерить параметры пачек импульсов - длительность импульса, период в пачке, период повторения пачек.

5.2.3. Устанавливаем при помощи ручки «прибор уст. 100» показание микроамперметра на число 100.

5.3. Снять АКФ одиночного прямоугольного импульса.

5.3.1. Переключатель S_1 поставить в положение «1», переключатели S_2 и S_3 - в положение «0». На вход осциллографа подать сигнал из гнезда Г3.

5.3.2. Изменяя задержку импульса переключателем S_3 через 0,2 мкс от 0 до 1 мкс, снимаем показания прибора в относительных единицах и заносим их в табл. 4.1.

$\tau_{\text{задержки}}, \text{мкс}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$I_{\text{прибора}} \equiv B(\tau)$						

Изменяя задержку, наблюдаем на экране изменение площади импульса после перемножителя (рис 4.1). В данном случае на лабораторной установке снимается «половина» АКФ, соответствующая положительным задержкам.

5.4. Снятие АКФ двух прямоугольных импульсов.

5.4.1. Переключатель S1 поставить в положение «2», переключатели S2 и S3 - в положение «0». Наблюдая осциллограммы сигналов из гнезда ГЗ, выполнить переключения, идентичные п.п.5.3.2, и данные занести в табл.4.2.

5.4.2. Затем переключатель S2 поставить в положение «1 мкс», и используя переключатель S3, снять точки АКФ через 0,2 мкс от 0 до 1 мкс, т.е. 1 мкс + 0,2 ... + 1 мкс. Показания прибора заносим в табл.4.2.

Таблица 4.2

$\tau_{\text{задержки}}, \text{мкс}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	2,8	3
$I_{\text{прибора}} \equiv B(\tau)$													

5.4.3. Затем переключатель S2 ставим в положение «2 мкс» и изменяем переключателем S3 задержку от 0 до 1 мкс, полученные результаты сводим в табл.4.2.

5.5. Снять АКФ пачки из 3-х прямоугольных импульсов.

5.5.1. Для этого выполнить все операции по п.п. 5.3 и 5.4, затем поставить переключатель S2 в положение «3 мкс», проделав манипуляции переключателем S3.

5.5.2. То же самое проделать в положении переключателя «4 мкс». Измерения свести в таблицу, аналогичную табл.4.2 ($\tau_{\text{задержки}}$ до 5 мкс).

5.6. Снять АКФ пачки из 4-х прямоугольных импульсов.

5.6.1. Для этого выполнить все операции по п.п.5.3, 5.4 и 5.5, затем поставить переключатель S2 в положение «5 мкс», проделав манипуляции переключателем S3.

5.6.2. То же самое проделать в положении переключателя S2 «6 мкс». Результаты свести в таблицу, аналогичную табл 4.2 ($\tau_{\text{задержки}}$ до 7 мкс).

5.7. Построить по полученным результатам АКФ для одиночного и пачек импульсов.

6. Содержание отчета

6.1 Структурная схема лабораторной установки.

6.2 Результаты измерений, таблицы и графики.

6.3 Письменные ответы на контрольные вопросы, приведенные ниже.

7. Контрольные вопросы

7.1 Поясните принцип работы коррелятора.

7.2 Сформулируйте основные свойства АКФ и дайте их физическое толкование.

7.3. Постройте АКФ для пачки из двух прямоугольных импульсов с параметрами $U_M = 10\text{В}$, $t_{\text{и}} = 1\text{мкс}$, $T_{\text{п}} = 4\text{мкс}$ (период повторения импульсов в пачке).

7.4. Построить АКФ двух разнополярных прямоугольных импульсов. Первый имеет параметры $U_M = 1\text{В}$, $t_{\text{и}} = 10\text{мкс}$, второй $U_M = -1\text{В}$, $t_{\text{и}} = 10\text{мкс}$, расстояние между импульсами 60 мкс.

Литература

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000, с. 77-82.

2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Дрофа, 2006, с. 97-102.

3. Денисенко А.Н., Стеценко О.А. Теоретическая радиотехника. Справочное пособие, часть 1. Детерминированные сигналы. М.: Изд. стандартов, 1993, с. 59-69.

4. Илюхин А.А., Шемаханов М.М. Радиотехнические цепи и сигналы. Сборник примеров и задач с решениями. Часть 1. М.: МГТУ ГА, 2000.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Корреляционные функции дискретных сигналов

1. **Цель работы** – изучение принципов корреляционного анализа, свойств автокорреляционной функции (АКФ) и взаимокорреляционной функции (ВКФ) дискретных сигналов.

2. Краткие теоретические сведения

Корреляционные функции дискретных сигналов также являются дискретными. Дискретная АКФ записывается так [1]

$$\widehat{B}_u(n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} u_j u_{j-n}, \quad (5.1)$$

где u_j – значение дискретного сигнала на j – ой позиции, которое может принимать значения $\pm 1, 0$;

u_{j-n} – значение копии дискретного сигнала, сдвинутой относительно дискретного сигнала на n позиций.

Эта функция целочисленного аргумента n обладает следующими свойствами:

- достигает максимума при $n=0$;
- является четной, то есть $\widehat{B}_u(n) = \widehat{B}_u(-n)$.

Дискретная ВКФ записывается так [1]

$$\widehat{B}_{u_1 u_2}(n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} u_{1j} u_{2j-n}, \quad (5.2)$$

где u_{1j} – значение первого дискретного сигнала на j – ой позиции, которое может принимать значения $\pm 1, 0$;

u_{2j-n} – значение второго дискретного сигнала на j – ой позиции, которое может принимать значения $\pm 1, 0$; причем второй сигнал сдвинут относительно первого на n позиций.

Дискретная ВКФ обладает следующими свойствами:

- не является четной функцией двух неодинаковых сигналов, то есть

$$\widehat{B}_{u_1 u_2}(n) \neq \widehat{B}_{u_1 u_2}(-n);$$

- необязательно достигает максимума при $n = 0$;

$$-\widehat{B}_{u_1u_2}(n) = \widehat{B}_{u_2u_1}(-n). \quad (5.3)$$

Выражение (5.3) позволяет измерить АКФ и ВКФ при отрицательных значениях аргумента n .

3. Подготовка к работе

3.1. Рассчитать дискретную АКФ четырехпозиционного дискретного сигнала $u_1=(1,-1,-1,1)$ и сигнала БАРКЕРА $u_2=(1,-1,1,1)$ по формуле (5.1).

Результаты расчетов свести в табл.5.1.

Таблица 5.1

	Вид сигнала									
	(1,-1,-1,1)					(1,-1,1,1)				
$ n $	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
$\widehat{B}_u(n)$										

По данным табл.5.1 построить графики АКФ. Сравнить полученные графики.

3.2. Рассчитать дискретную АКФ пятипозиционного сигнала БАРКЕРА $u_3=(1,-1,1,1,1)$, используя формулу (5.1), и построить ее график. Сравнить графики АКФ сигналов u_2 и u_3 .

3.3. Рассчитать дискретную ВКФ сигналов u_1 и u_2 по формуле (5.2). Результаты расчетов свести в табл.5.2.

Таблица 5.2

n	0	1	2	3	4	-1	-2	-3	-4
$\widehat{B}_{u_1u_2}(n)$									

Используя данные табл. 5.2, построить ВКФ и сравнить ее с АКФ, полученными в п.3.1.

3.4. Рассчитать дискретную ВКФ сигналов u_2 и u_1 по формуле

$$\hat{B}_{u_2u_1}(n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} u_2(j)u_1(j-n).$$

Результаты расчетов свести в табл.5.3.

Таблица 5.3

n	0	1	2	3	4	-1	-2	-3	-4
$\hat{B}_{u_2u_1}(n)$									

По данным табл.5.3 построить ВКФ и сравнить ее с ВКФ, полученной в п.3.3.

4. Контрольно-измерительная аппаратура

- 4.1. Прибор для исследования корреляционных характеристик.
- 4.2. Генератор сигналов низкочастотный.
- 4.3. Два осциллографа.
- 4.4. Лабораторный макет.

5. Описание лабораторного макета

Лабораторный макет состоит из двух блоков – базового и сменного. В базовом блоке смонтирован источник питания и усилитель - ограничитель. В сменном блоке расположен генератор, вырабатывающий две синхронные последовательности восьми отсчетных импульсов, а также импульсы синхронизации. Амплитуда и полярность отсчетных импульсов устанавливается с помощью ручек управления, расположенных на лицевой панели сменного блока. Запуск генератора отсчетных импульсов осуществляется синусоидальным сигналом внешнего генератора, подключаемого к гнездам Γ_1 . С гнезд Γ_3 , Γ_4 снимаются синхронные последовательности пачек отсчетных импульсов, максимальное количество которых в пачке равно восьми. С гнезд Γ_5 снимаются импульсы для внешней синхронизации осциллографа.

6. Порядок выполнения лабораторной работы

6.1. Измерить АКФ четырехпозиционного дискретного сигнала (1,-1,-1,1).

6.1.1. Собрать лабораторную установку в соответствии с рис.5.1.

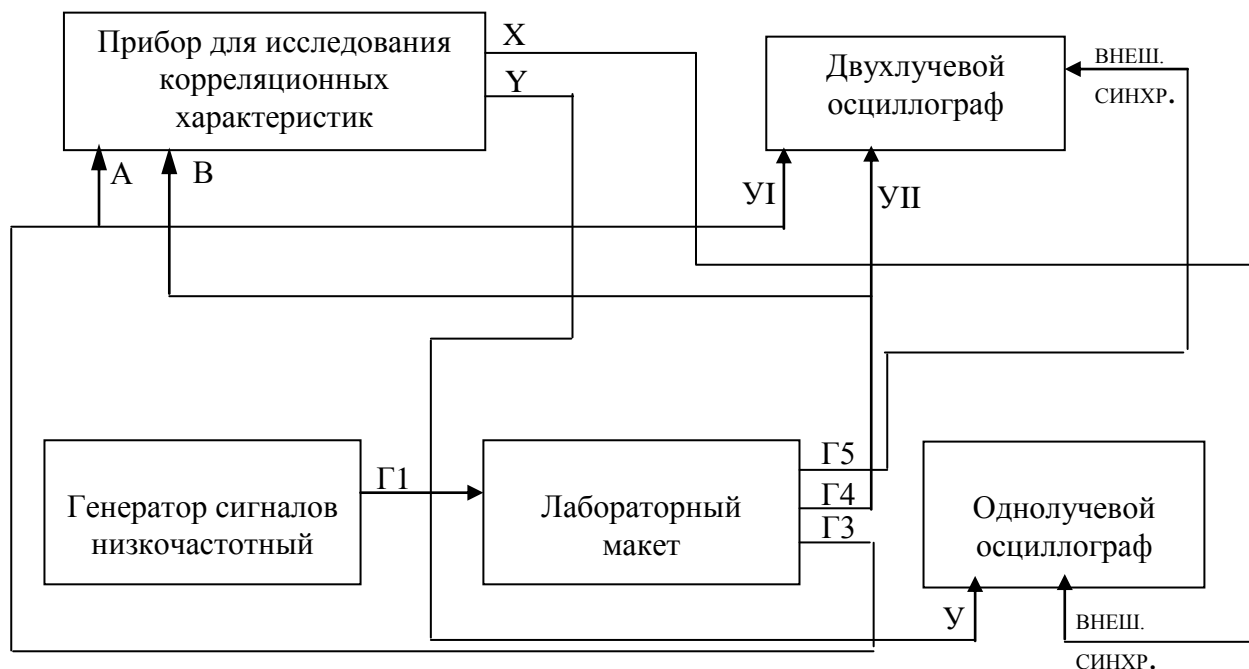


Рис.5.1. Структурная схема лабораторной установки

После проверки преподавателем схемы соединений приборов и макета включить их питание.

6.1.2. Подготовить приборы и макет к измерениям следующим образом.

6.1.2.1. Прибор для исследования корреляционных характеристик Х6-4:

- нажать кнопки переключателей А1V и Б1V;
- нажать кнопку переключателя ВСПОМОГ. СИГНАЛ ВЫКЛ.;
- нажать кнопку переключателя УСРЕДНЕНИЕ СУММ;
- нажать кнопку переключателя ЗАДЕРЖКА 10 μ S;
- нажать кнопку $\times 10$;
- нажать кнопки переключателя КОЛИЧЕСТВО ВЫБОРОК 2^7 и 2^1 ;
- нажать кнопки «~» и РАЗВЕРТКА.

6.1.2.2. Генератор сигналов низкочастотный:

- установить выходное напряжение, равное 0,2 В;

- установить частоту, равную 10 кГц.

6.1.2.3. Двухлучевой осциллограф:

- установить переключатели УСИЛЕНИЕ ВОЛЬТ/ДЕЛ. усилителей YI и YII в положение 1;

- установить переключатель РАЗВЕРТКА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЯ/ДЕЛ. в положение 0,1 мS;

- установить переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ в положение ВНЕШ.

6.1.2.4. Однолучевой осциллограф:

- установить переключатель УСИЛЕНИЕ V/ДЕЛ. в положение 0,2;

- установить тумблер РАЗВЕР. в верхнее положение, переключатель развертки в положение 1mS/ДЕЛ., тумблер СИНХР. в нижнее положение.

6.1.2.5. Лабораторный макет.

Для получения с гнезд Γ_3 и Γ_4 двух одинаковых пачек отсчетных импульсов, соответствующих дискретному сигналу $u_1=(1,-1,-1,1)$ сделать следующее: установить амплитуды первого и четвертого отсчетных импульсов равными и максимальными, полярность этих импульсов сделать положительной; установить амплитуды второго и третьего отсчетных импульсов равными и максимальными, полярность этих импульсов сделать отрицательной; амплитуды остальных отсчетных импульсов сделать нулевыми.

Зарисовать в масштабе осциллограммы полученных сигналов.

6.1.3. Нажать кнопку переключателя РЕЖИМ R_{ab} , а затем кнопку ПУСК. На экране однолучевого осциллографа наблюдать АКФ дискретного сигнала u_1 при положительных значениях аргумента n . Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.1.4. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопку РЕЖИМ R_{ba} и кнопку ПУСК. Наблюдать на экране осциллографа АКФ дискретного сигнала u_1 при отрицательных значениях аргумента n .

Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.1.5. Нарисовать в масштабе АКФ сигнала u_1 по результатам п.п. 6.1.3., 6.1.4. и сравнить ее с расчетной АКФ, полученной в п. 3.1.

6.2. Измерить АКФ четырехпозиционного дискретного сигнала БАРКЕРА $u_2=(1,-1,1,1)$.

6.2.1. Для получения с гнезд Γ_3 и Γ_4 двух одинаковых пачек отсчетных импульсов, соответствующих дискретному сигналу u_2 сделать следующее:

- установить амплитуды первого, третьего и четвертого отсчетных импульсов равными и максимальными, полярность этих импульсов сделать положительной;

- установить амплитуду второго отсчетного импульса максимальной и полярность отрицательной;

- амплитуды остальных отсчетных импульсов сделать нулевыми.

Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.2.2. Измерить АКФ дискретного сигнала u_2 по методике, изложенной в п.п. 6.1.3, 6.1.4, и сравнить ее с расчетной АКФ, полученной в п. 3.1.

6.3. Измерить АКФ пятипозиционного сигнала БАРКЕРА $u_3=(1,-1,1,1,1)$.

6.3.1. Для получения с гнезд Γ_3 и Γ_4 двух одинаковых пачек отсчетных импульсов, соответствующих дискретному сигналу u_3 , сделать следующее:

- установить амплитуды первого, третьего, четвертого и пятого отсчетных импульсов равными и максимальными, полярность этих импульсов сделать положительной;

- установить амплитуду второго отсчетного импульса максимальной и полярность отрицательной;

- амплитуды остальных отсчетных импульсов сделать нулевыми.

Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.3.2. Измерить АКФ дискретного сигнала u_3 по методике, изложенной в п.п. 6.1.3, 6.1.4, сравнить ее с расчетной АКФ, полученной в п.3.2., и с измеренной АКФ сигнала u_2 , полученной в п.6.2.2.

6.4. Измерить ВКФ $\hat{\hat{V}}_{u_1u_2}(n)$ дискретных сигналов $u_1=(1,-1,-1,1)$ и $u_2=(1,-1,1,1)$.

6.4.1. Получить с гнезд Γ_3 пачку отсчетных импульсов, соответствующих дискретному сигналу u_1 , а с гнезд Γ_4 - сигналу u_2 .

Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.4.2. Нажать кнопку переключателя РЕЖИМ $R_{a\bar{b}}$, а затем кнопку ПУСК. На экране однолучевого осциллографа наблюдать ВКФ $\hat{\hat{V}}_{u_1u_2}(n)$ дискретных сигналов u_1 и u_2 при положительных значениях аргумента n . Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.4.3. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопку РЕЖИМ $R_{\bar{b}a}$ и кнопку ПУСК. Наблюдать на экране осциллографа ВКФ $\hat{\hat{V}}_{u_1u_2}(n)$ дискретных сигналов u_1 и u_2 при отрицательных значениях аргумента n . Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.4.4. Нарисовать в масштабе ВКФ $\widehat{\widehat{B}}_{u_1u_2}(n)$ сигналов u_1 и u_2 по результатам п.п. 6.4.2, 6.4.3 и сравнить ее с расчетной ВКФ, полученной в п. 3.3.

6.5. Измерить ВКФ $\widehat{\widehat{B}}_{u_2u_1}(n)$ дискретных сигналов $u_2=(1, -1,1,1)$ и $u_1=(1,-1,-1,1)$.

6.5.1. Получить с гнезд Γ_3 пачку отсчетных импульсов, соответствующих дискретному сигналу u_2 , а с гнезд Γ_4 - сигналу u_1 .

Зарисовать в масштабе полученную осциллограмму.

6.5.2. Измерить ВКФ $\widehat{\widehat{B}}_{u_2u_1}(n)$ по методике, изложенной в п.п. 6.4.2, 6.4.3.

6.5.3. Нарисовать в масштабе ВКФ $\widehat{\widehat{B}}_{u_2u_1}(n)$ сигналов u_2 и u_1 , сравнить ее с расчетной ВКФ, полученной в п. 3.4, и с измеренной (п.6.4) ВКФ $\widehat{\widehat{B}}_{u_1u_2}(n)$.

7. Содержание отчета

7.1. Результаты расчетов и построений, полученные при подготовке к работе.

7.2. Структурная схема лабораторной установки.

7.3. Осциллограммы сигналов и графики корреляционных функций.

7.4. Анализ полученных результатов и выводы.

8. Контрольные вопросы

8.1. Дайте определение дискретного сигнала. Приведите примеры этих сигналов.

8.2. Дайте определение дискретной АКФ дискретного сигнала. Перечислите ее свойства.

8.3. В чем состоит достоинство сигналов БАРКЕРА по сравнению с другими дискретными сигналами?

8.4. Дайте определение дискретной ВКФ двух дискретных сигналов. Перечислите ее свойства.

Литература

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000, с.83-90.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Восстановление аналоговых сигналов по-Котельникову

1. **Цель работы** – изучение принципов восстановления непрерывного сигнала по его отсчетным значениям в дискретные моменты времени.

2. Краткие теоретические сведения

Ряд Котельникова записывается следующим образом [1]

$$S(t) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} S_K \cdot \frac{\sin \omega_g (t - K\pi / \omega_g)}{\omega_g (t - K\pi / \omega_g)}, \quad (6.1)$$

где $S(t)$ – произвольный сигнал, спектральная плотность которого отлична от нуля лишь в полосе частот $-\omega_g \leq \omega \leq \omega_g$;

ω_g - верхняя частота в спектре сигнала $S(t)$;

S_K - мгновенное значение сигнала $S(t)$ в k -й отсчетной точке $t_K = K\pi / \omega_g$.

На основании выражения (6.1) принято формулировать теорему Котельникова так: произвольный сигнал, спектр которого не содержит частот выше ω_g , может быть полностью восстановлен, если известны отсчетные значения этого сигнала, взятые через равные промежутки времени $\frac{\pi}{\omega_g} = \frac{1}{2f_g}$.

На основании теоремы Котельникова непрерывный сигнал $S(t)$ необходимо превратить в дискретизованный сигнал $S_d(t)$, математическая модель которого задается выражением ([1], с. 382-384)

$$S_d(t) = \Delta \sum_{K=-\infty}^{\infty} S_K \delta(t - K\Delta), \quad (6.2)$$

где $\Delta = \frac{\pi}{\omega_g} = \frac{1}{2f_g}$ - интервал (шаг) дискретизации, то есть сигнал $S_d(t)$

представляет собой модулированную импульсную последовательность, образованную бесконечно короткими импульсами.

Спектральная плотность сигнала $S_d(t)$ задается выражением ([1], с. 385-388)

$$S_d(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(\omega - 2\pi n/\Delta), \quad (6.3)$$

где $S(\omega)$ - получаемая из выражения (6.3) при $n=0$ спектральная плотность сигнала $S(t)$.

Таким образом, спектр дискретизованного сигнала $S_d(t)$ представляет собой сумму спектра исходного сигнала $S(t)$ и бесконечного числа его копий, которые располагаются на оси частот через одинаковые интервалы $2\pi/\Delta$ (рис.6.1).

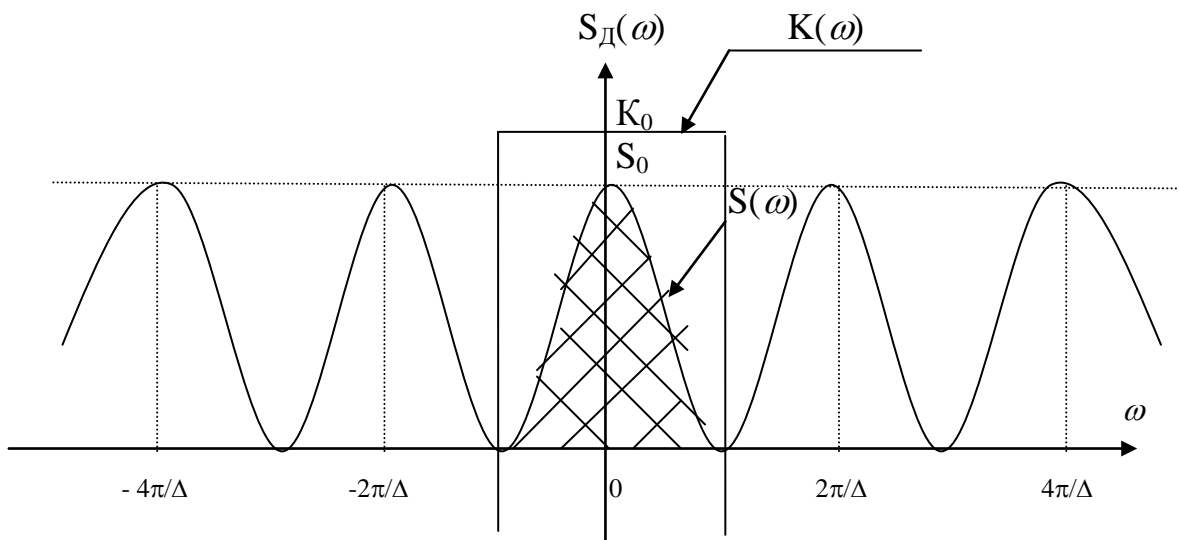


Рис.6.1. Спектральная плотность дискретизованного сигнала $S_d(t)$

Из выражения (6.3) и рис.6.1 ясно, что сигнал $S(t)$ может быть совершенно точно восстановлен с помощью идеального фильтра нижних частот (ФНЧ), на вход которого подан сигнал $S_d(t)$ (выражение (6.2)).

Комплексная частотная характеристика идеального ФНЧ записывается так

$$K(j\omega) = \begin{cases} K_0, & -\omega_g \leq \omega \leq \omega_g; \\ 0, & -\omega_g > \omega > \omega_g. \end{cases}$$

Амплитудно-частотная характеристика $K(\omega)$ этого фильтра изображена на рис.6.1. Дискретизация непрерывных сигналов с использованием бесконечно коротких импульсов и идеальный ФНЧ физически не реализуемы. Это ведет к возникновению погрешностей при восстановлении исходного сигнала ([1], с. 386-387, рис. 15.3).

3. Подготовка к работе

3.1. Рассчитать напряжение $u_{\text{ап}}(t)$, аппроксимирующее прямоугольный видеоимпульс

$$u(t) = \begin{cases} U_M, & 0 \leq t \leq t_{\text{И}}; \\ 0, & 0 > t > t_{\text{И}} \end{cases}$$

рядом Котельникова по семи отсчетным значениям ($\Delta_1 = \pi / \omega_{\text{с}_1} = t_{\text{И}}/6$) и по тринадцати отсчетным значениям ($\Delta_2 = \pi / \omega_{\text{с}_2} = t_{\text{И}}/12$).

При этом использовать формулу

$$u_{\text{ап}}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} U_K \frac{\sin \omega_{\text{с}}(t - k\Delta)}{\omega_{\text{с}}(t - k\Delta)}, \quad (6.4)$$

где U_K – мгновенное значение прямоугольного видеоимпульса в k -й отсчетной точке,

Δ – интервал дискретизации,

N – число отсчетов.

Вычисления произвести в интервале t от $-t_{\text{И}}$ до $2t_{\text{И}}$ при следующих значениях параметров видеоимпульса: амплитуда $U_M=1\text{В}$, длительность $t_{\text{И}}=300\text{ мкс}$.

Результаты расчетов свести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

	Интервал дискретизации	
	$\Delta_1 = t_{\text{И}}/6 = 50\text{ мкс}$	$\Delta_2 = t_{\text{И}}/12 = 25\text{ мкс}$
$t, \text{ мкс}$		
$u_{\text{ап}}(t), \text{ В}$		

Используя данные табл. 6.1, построить аппроксимирующее напряжение $u_{\text{ап}}(t)$ для двух значений интервала дискретизации. В тех же осях координат изобразить исходный прямоугольный видеоимпульс. Сделать вывод о влиянии интервала дискретизации (о влиянии выбора верхней частоты спектра прямоугольного видеоимпульса) на качество аппроксимации.

3.2. Рассчитать, используя выражение (6.4), напряжение $u_{\text{ап}}(t)$, аппроксимирующее прямоугольный радиоимпульс

$$u(t) = \begin{cases} U_M \sin \omega_0 t, & 0 \leq t \leq t_{\text{И}}; \\ 0, & 0 > t > t_{\text{И}} \end{cases}$$

рядом Котельникова по шести отличным от нуля значениям сигнала, взятым в моменты времени $t_k = k\Delta = k \frac{T_0}{4}$, $k=1,3,5,7,9,11$,

где T_0 – период высокочастотного заполнения радиоимпульса.

Вычисления произвести в интервале t от $-t_{\text{И}}$ до $2 t_{\text{И}}$ при следующих значениях параметров радиоимпульса: амплитуда $U_M=1$ В, длительность $t_{\text{И}}=300$ мкс.

Результаты расчетов свести в табл.6.2.

Таблица 6.2

t , мкс	
$u_{\text{ап}}(t)$, В	

По данным табл. 6.2 построить аппроксимирующее напряжение $u_{\text{ап}}(t)$, в тех же осях координат изобразить исходный прямоугольный радиоимпульс. Сделать заключение о правильности выбора интервала дискретизации.

4. Контрольно – измерительная аппаратура

- 4.1. Генератор сигналов низкочастотный.
- 4.2. Двухлучевой осциллограф.
- 4.3. Милливольтметр переменного тока.
- 4.4. Лабораторный макет.

5. Описание лабораторного макета

Лабораторный макет состоит из базового и сменного блоков, а также макета фильтра нижних частот (ФНЧ). В базовом блоке смонтирован источник питания, усилитель – ограничитель. В сменном блоке смонтирован генератор, вырабатывающий последовательность пачек отсчетных импульсов, максимальное количество которых в пачке может быть либо 16, либо 20, а также импульсы синхронизации. Амплитуда и полярность отсчетных импульсов устанавливается с помощью ручек управления, расположенных на лицевой панели сменного блока. Запуск генератора отсчетных импульсов осуществляется синусоидальным сигналом внешнего генератора, подключаемого к гнездам Г1. С гнезд Г4 снимается последовательность пачек отсчетных импульсов, с гнезд Г5 – импульсы для внешней синхронизации осциллографа.

Макет ФНЧ выполнен на операционном усилителе с использованием резисторов и конденсаторов, меняя параметры которых можно получать различные полосы пропускания ФНЧ.

6. Порядок выполнения лабораторной работы

6.1. Снять амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) фильтра нижних частот.

6.1.1. Структурная схема лабораторной установки приведена на рис.6.2, а на рис.6.3 – принципиальная схема ФНЧ.

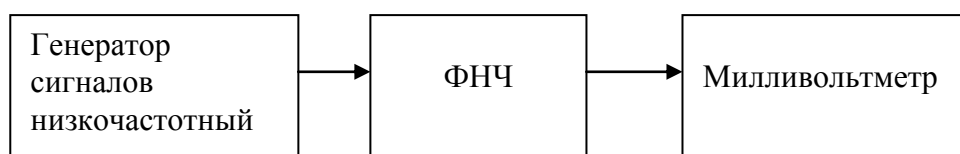


Рис.6.2. Структурная схема лабораторной установки

6.1.2. Собрать лабораторную установку в соответствии с рис.6.2. На макете ФНЧ переключатели S_2 , S_4 поставить в положение 1, S_3 , S_5 – в положение 2.

После проверки преподавателем схемы соединений приборов и макета ФНЧ включить их питание.

Установить выходное напряжение генератора, используя его вольтметр, равное 1 В, установить предел измерения милливольтметра равным 10 В.

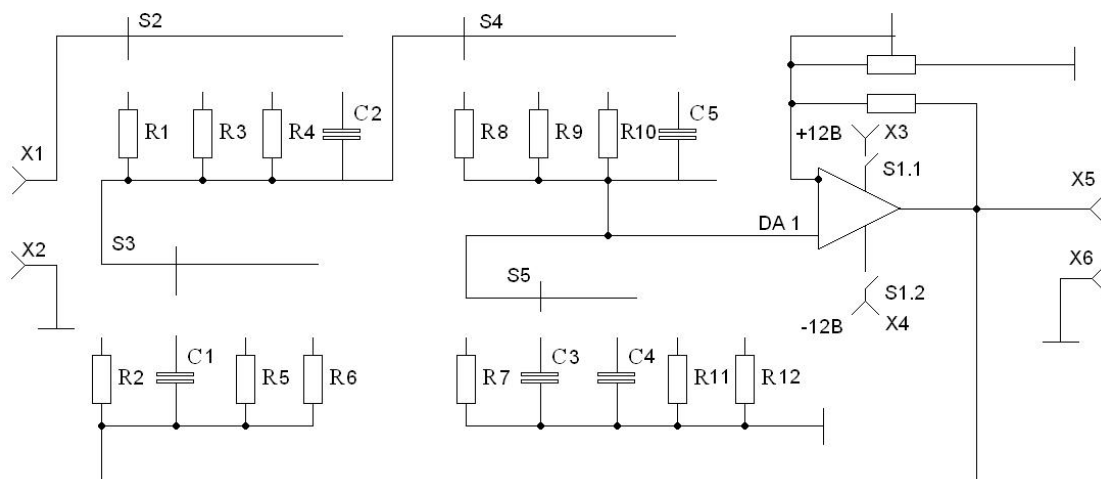


Рис.6.3. Принципиальная схема ФНЧ

6.1.3. Измерить амплитудно-частотную характеристику ФНЧ в диапазоне частот от 20 до 10000 Гц.

Результаты измерений свести в табл.6.3 .

Таблица 6.3

F, Гц		
S ₂ , S ₄ – в пол.1	U _{ВЫХ} , В	
	K = U _{ВЫХ} /U _{ВХ}	
S ₂ , S ₄ – в пол.2	U _{ВЫХ} , В	
	K = U _{ВЫХ} /U _{ВХ}	
S ₂ – в пол.1 S ₄ – в пол.2	U _{ВЫХ} , В	
	K = U _{ВЫХ} /U _{ВХ}	

6.1.4. На макете ФНЧ переключатели S₂, S₄ поставить в положение 2.

Измерить амплитудно-частотную характеристику ФНЧ в диапазоне частот от 20 до 30000 Гц.

Результаты измерений свести в табл. 6.3.

6.1.5. На макете ФНЧ переключатель S_2 поставить в положение 1. Измерить АЧХ ФНЧ в диапазоне частот от 20 до 15000 Гц. Результаты измерений свести в табл. 6.3.

По данным табл.6.3 построить в одних осях координат амплитудно-частотные характеристики ФНЧ, определить полосы пропускания.

6.2. Синтезировать прямоугольный видеоимпульс длительностью $t_{И}=300$ мкс.

6.2.1.Собрать лабораторную установку в соответствии с рис.6.4.

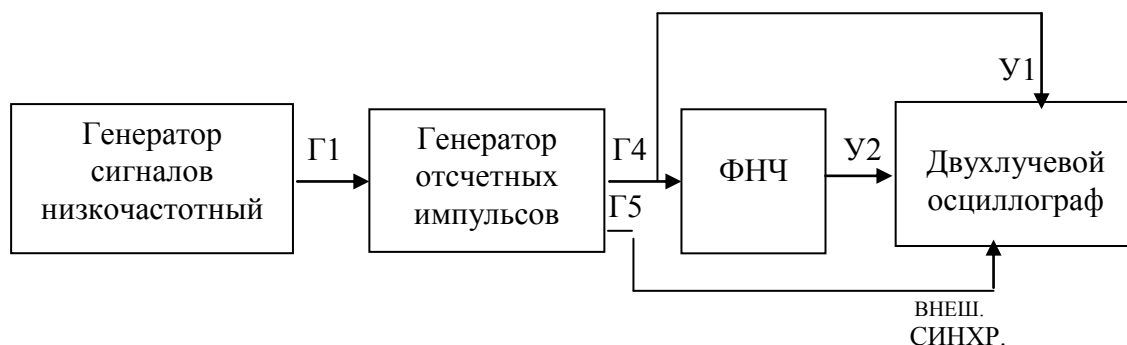


Рис.6.4. Структурная схема лабораторной установки

После проверки преподавателем схемы соединений приборов и лабораторного макета включить их питание.

Установить выходное напряжение генератора низкочастотных сигналов равное 1 В, а частоту – 40 кГц. На макете ФНЧ переключатели S_2 , S_4 поставить в положение 1, S_3 , S_5 – в положение 2. На осциллографе переключатели V/ДЕЛ. поставить в положение 0,2, а переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ. – в положение 0,1 мс. Наблюдая на экране осциллографа отсчетные импульсы, с помощью ручек управления на лицевой панели генератора отсчетных импульсов установить амплитуды первого, третьего, пятого, седьмого, девятого, одиннадцатого и тринадцатого импульсов равными 1 В, полярность этих импульсов сделать положительной, амплитуды остальных импульсов сделать нулевыми.

Зарисовать в масштабе и одну под другой осциллограммы полученного сигнала и сигнала на выходе ФНЧ и сравнить выходную осциллограмму с графиком $u_{ап}(t)$ для интервала дискретизации $\Delta_1 = t_{И}/6 = 50$ мкс. (п. 3.1).

6.2.2. Установить амплитуды первого, второго, третьего, четвертого, пятого, шестого, седьмого, восьмого, девятого, десятого, одиннадцатого, двенадцатого и тринадцатого импульсов равными 1 В,

полярность этих импульсов сделать положительной, амплитуды остальных импульсов сделать нулевыми.

На макете ФНЧ переключатель S_4 поставить в положение 2.

Зарисовать в масштабе и одну под другой осциллограммы сигналов на входе и на выходе ФНЧ и сравнить выходную осциллограмму с осциллограммой (п. 6.2.1) и с графиком $u_{ап}(t)$ для интервала дискретизации $\Delta_2 = t_{И}/12 = 25$ мкс. (п. 3.1).

6.2.3. На макете ФНЧ переключатель S_2 поставить в положение 2.

Зарисовать в масштабе осциллограмму сигнала на выходе ФНЧ и сравнить ее с осциллограммой, полученной в п. 6.2.2. Сделать заключение о влиянии полосы пропускания фильтра на качество синтезирования прямоугольного видеоимпульса.

6.2.4. На макете ФНЧ переключатели S_2, S_4 поставить в положение 1.

Зарисовать в масштабе осциллограмму сигнала на выходе ФНЧ и сравнить ее с осциллограммой, полученной в п. 6.2.2. Сделать заключение о влиянии полосы пропускания фильтра на качество синтезирования прямоугольного видеоимпульса.

6.3. Синтезировать прямоугольный радиоимпульс с длительностью $t_{И} = 300$ мкс и частотой заполнения $f_0 = 10$ кГц.

6.3.1. На входе ФНЧ получить последовательность пачек отсчетных импульсов, состоящих из второго, шестого, десятого импульсов положительной полярности и четвертого, восьмого, двенадцатого импульсов отрицательной полярности.

На макете ФНЧ переключатель S_2 поставить в положение 1, а S_4 – в положение 2.

Зарисовать в масштабе и одну под другой осциллограмму полученного сигнала и радиоимпульса на выходе ФНЧ.

7. Содержание отчета

7.1. Результаты расчетов и построений, полученные при подготовке к работе.

7.2. Структурные схемы лабораторных установок.

7.3. Результаты измерений и выполненные по ним построения, осциллограммы.

7.4. Анализ полученных результатов и выводы.

8. Контрольные вопросы

8.1. Приведите формулировку теоремы Котельникова.

8.2. Чем определяется частота повторения отсчетных импульсов?

8.3. Из каких соображений выбирается полоса пропускания ФНЧ?

8.4. Назовите возможные причины расхождения экспериментальных и расчетных данных в лабораторной работе.

8.5. Поясните структуру спектра дискретного сигнала.

Литература

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000. с. 119-125, 382-388.

2. Иванов М.Т., Сергиенко А.В., Ушаков В.Н. Теоретические основы радиотехники. М.: Высшая школа, 2002, с. 187-197.

3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Дрофа, 2006, с. 87-97.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Измерение характеристик случайных сигналов

1. Цель работы

1.1. Овладеть методами измерения характеристик случайных сигналов.

1.2. Получить навыки работы с прибором Х6-4, предназначенным для исследования нормированных функций автокорреляции и взаимной корреляции, плотности распределения вероятностей и функции распределения вероятностей эргодических случайных процессов и воспроизведения результатов измерения на внутреннем индикаторе и внешнем осциллографе.

2. Краткие теоретические сведения

В данной лабораторной работе изучаются основные инженерные характеристики случайных сигналов, такие как автокорреляционные функции, функции плотности вероятностей и функции распределения. Экспериментально проверяется центральная предельная теорема вероятностей А.М. Ляпунова. Случайными сигналами (процессами) называют сигналы, математическими моделями которых являются случайные функции времени. Случайной называется функция, значение которой при каждом значении аргумента t является случайной величиной в отличие от детерминированного сигнала, значение которого при любом t является неслучайным числом [1, 2, 3], называемым мгновенным значением сигнала.

Случайная функция $x(t)$, описывающая случайный сигнал, в результате опыта может принять ту или иную конкретную формулу $x_i(t)$, неизвестную заранее. Эти возможные формы случайной функции называются реализациями. Совокупность всех возможных реализаций $x_i(t)$ случайного сигнала (процесса) $x(t)$ называется ансамблем.

В данной лабораторной работе исследуются эргодические случайные сигналы. Это такие стационарные сигналы, характеристики которых – функция плотности распределения вероятностей (ФПРВ), функция распределения (ФРВ) получаются при исследовании одной реализации достаточно большой протяженности [1, 2, 3].

Автокорреляционная функция определяется тем же соотношением, которое мы получили в лабораторной работе № 4, формулы 4.1 и 4.3.

В лабораторной работе исследуются характеристики негауссовых и гауссовых (нормальных) процессов.

Примеры негауссовых процессов и их функций плотности вероятностей приведены на рис.7.1.

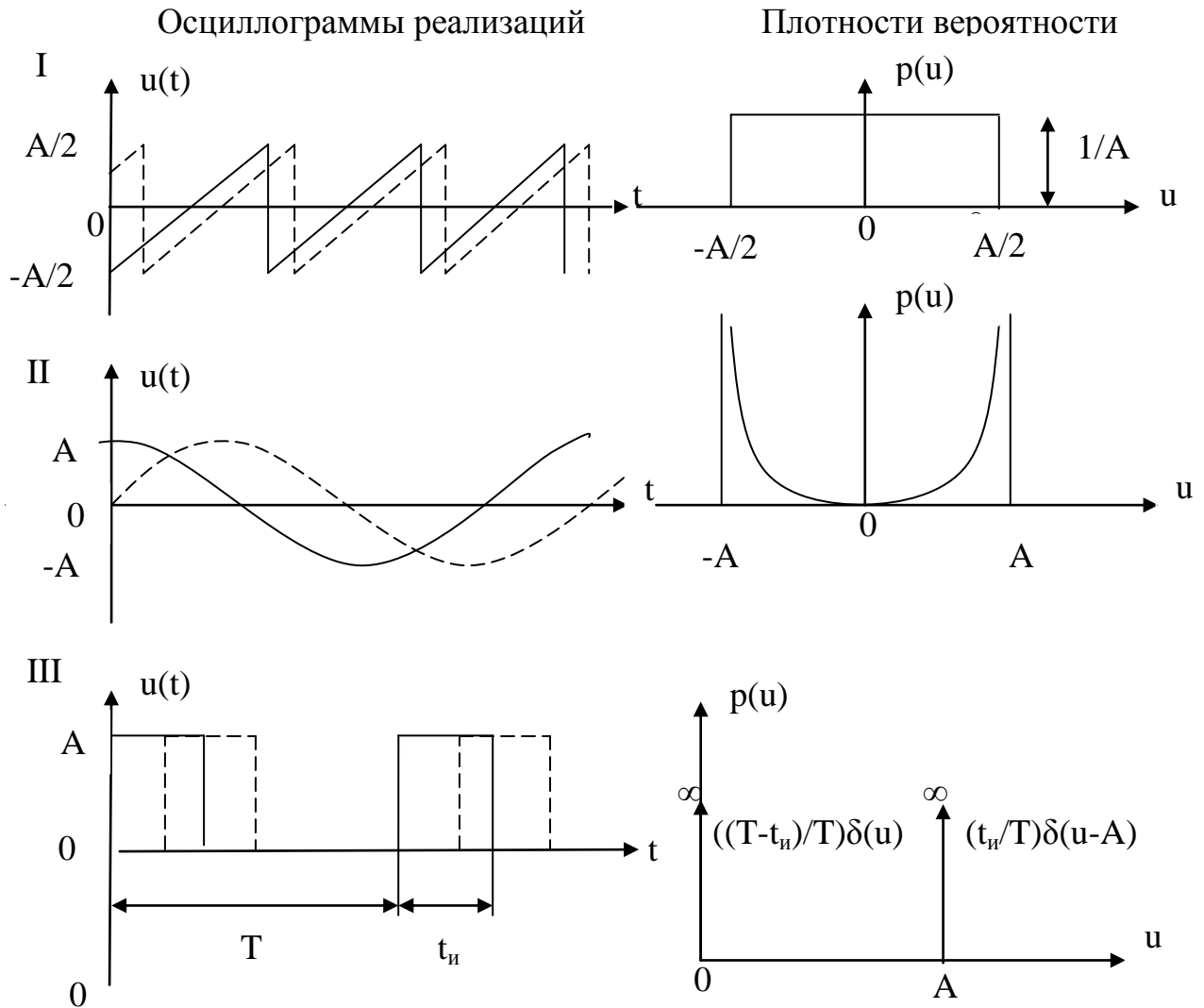


Рис. 7.1. Примеры негауссовых процессов и их функций плотности вероятностей

I – пилообразное колебание со случайным временем появления; II – гармоническое колебание со случайной фазой; III – последовательность прямоугольных импульсов со случайным временем появления.

Для изучения свойств ФПРВ гауссовых процессов в лабораторной работе используется сумма 5 гармонических колебаний, формируемых соответствующими генераторами (см. переднюю панель лабораторного макета). Согласно центральной предельной теореме вероятностей А. М. Ляпунова распределение суммы достаточно большого числа независимых примерно одинаковых случайных слагаемых стремится к нормальному независимо от ФПРВ каждого сигнала в отдельности.

График, иллюстрирующий сказанное, приведен в [1, с.308, рис. 7.10], из которого видно, что если число N суммируемых гармонических колебаний с близкими амплитудами и взаимнонезависимыми фазами $N \approx 4$ и более, то ФПРВ суммы можно с достаточной степенью точности считать стационарным процессом с ФПРВ, близкой к гауссовской.

Свойства нормального (гауссовского) закона следует изучать по [1, с. 166-169], учебнику Гмурмана В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика, М.: Высшая школа, 2002, с. 124-134, или Вентцель Е. С. Теория вероятностей, любой год издания, раздел «Нормальный закон распределения».

3. Контрольно-измерительная аппаратура

- 3.1 Прибор для исследования корреляционных характеристик Х6-4.
- 3.2 Генератор шума низкочастотный Г2-57.
- 3.3. Осциллограф электронно-лучевой С1-55.
- 3.4. Лабораторный макет.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Измерить с помощью прибора Х6-4 автокорреляционную функцию (АКФ), функции распределения вероятностей (ФРВ) и плотности распределения вероятностей (ФПРВ) гармонического колебания со случайной фазой.

4.1.1. Собрать лабораторную установку в соответствии с рис.7.2.

После проверки схемы соединений приборов и лабораторного макета включить питание приборов.

4.1.2. Установить на лабораторном макете переключатель S_6 в положение 1, включить соответствующим тумблером генератор синусоидальных колебаний.

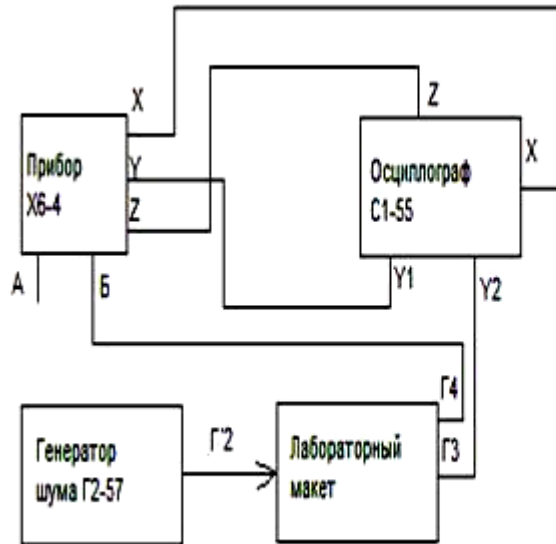


Рис.7.2. Структурная схема лабораторной установки

На осциллографе С1-55 переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ поставить в положение ВНУТР. 2. Коэффициенты отклонения каналов Y1 и Y2 поставить соответственно в положения 0.5В/дел и 2В/дел.; коэффициент развертки – в положение 1mS/дел. Зарисовать наблюдаемую осциллограмму исследуемого сигнала. Далее этот переключатель поставить в положение ВНЕШ.

4.1.3. Подготовьте прибор Х6-4 следующим образом:

- нажмите кнопку переключателя Б4V;
- нажмите кнопку переключателя ВСПОМОГ. СИГНАЛ ВЫКЛ.;
- нажмите кнопку переключателя РЕЖИМ R₆₆;
- нажмите кнопку переключателя УСРЕДНЕНИЕ СУММ;
- наберите число на переключателе N КАНАЛА «00»;
- нажмите кнопку переключателя ЗАДЕРЖКА 1 mS;
- нажмите кнопку x 10;
- нажмите кнопки переключателя КОЛИЧЕСТВО ВЫБОРОК 2^9 и 2^1 ;
- нажмите кнопку «~» и кнопку РАЗВЕРТКА.

4.1.4. Нажмите кнопку ПУСК, после окончания вычислений, когда погаснет лампочка (ПУСК) индикации времени обработки, проведите измерение дискретных значений функции автокорреляции. Для этого устанавливайте нужный номер канала с помощью переключателя N КАНАЛА. Отсчет дискретных значений функции получите на цифровом

индикаторе, который имеет три части. Показания первой части необходимо умножить на 100. Показания второй части необходимо умножить на 10. Пример отсчета показан на рис.7.3.

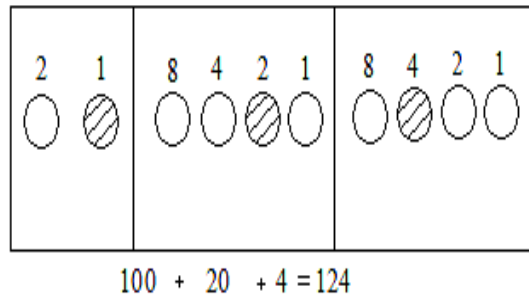


Рис.7.3. Пример отсчета на цифровом индикаторе

Нормирование дискретных значений функции автокорреляции произведите следующим образом

$$r(nt) = \frac{A_n - 128}{A_0 - 128},$$

где $r(nt)$ - нормированное значение функции автокорреляции,
 n - номер канала, устанавливаемый переключателем N КАНАЛА;
 t - шаг задержек, устанавливаемый переключателем ЗАДЕРЖКА.
 Результаты измерений свести в табл.7.1.

Таблица 7.1

Задержка nt , мс	
Нормированная АКФ, $r(nt)$	

По результатам табл. 7.1 постройте АКФ синусоидального колебания, сравните ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.1.5. Для измерения функции плотности вероятности $p(x)$ гармонического колебания со случайной начальной фазой нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопку $P(x)$. Нажмите кнопку ПУСК и, когда лампочка покажет конец вычислений, отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Определите значения плотности распределения вероятностей синусоидального колебания следующим образом

$$p(x) = (A_n - 128)K,$$

где $p(x)$ - значение плотности распределения,

A_n - показание цифрового индикатора для определенного номера канала,

K - коэффициент ($K = 0,010714$). Результаты измерений свести в табл.7.2.

Таблица 7.2

Номер канала, n	
p (x)	

По результатам табл.7.2 постройте ФПРВ синусоидального колебания, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.1.6. Измерение функции распределения $F(x)$. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки $F(x)$, x1. Нажмите кнопку ПУСК. Время окончания вычислений покажет лампочка, находящаяся рядом с кнопкой ПУСК. После этого отсчитайте показания цифрового индикатора для всех положений переключателя N КАНАЛА. Определяется значение функции распределения вероятностей следующим образом

$$F(x) = \frac{A_n - 128}{128},$$

где $F(x)$ - значение функции распределения вероятностей,

A_n - показание цифрового индикатора для определенного номера канала.

Результаты измерений свести в табл.7.3.

Таблица 7.3

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.7.3 постройте ФРВ синусоидального колебания, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.2. Измерить функции распределения вероятностей и плотности распределения вероятностей суммы гармонических колебаний со случайными начальными фазами и разными частотами.

4.2.1. На лабораторном макете включить все пять генераторов синусоидальных колебаний.

4.2.2. Нажмите кнопки Б 10V и СБРОС на приборе Х6-4, а затем кнопку F(x). Нажмите кнопку ПУСК и, когда лампочка покажет конец вычислений, отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Определите значения ФРВ по формуле, приведенной в п. 4.1.6. Результаты измерений свести в табл.7.4.

Таблица 7.4

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.7.4 постройте ФРВ суммы пяти синусоидальных колебаний, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.2.3. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки P(x) и x10. Нажмите кнопку ПУСК и, когда лампочка покажет конец вычислений, отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Определите значения ФПРВ по формуле, приведенной в п.4.1.5. Результаты измерений свести в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Номер канала, n	
p(x)	

По результатам табл.7.5 постройте ФПРВ суммы пяти синусоидальных колебаний, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.3. Измерить АКФ, ФРВ и ФПРВ для последовательности прямоугольных видеоимпульсов со случайным временем появления.

4.3.1. На лабораторном макете переключатель S6 поставить в положение 2, ручкой регулировки формы сигнала установить последовательность прямоугольных видеоимпульсов.

На осциллографе переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ поставить в положение ВНУТР.2. Зарисовать наблюдаемую осциллограмму исследуемого сигнала. Далее этот переключатель поставить в положение ВНЕШ.

4.3.2. Нажмите кнопку СБРОС на приборе X6-4, а затем кнопки Б 10V, ЗАДЕРЖКА 100мS, РЕЖИМ R₆₆, x10. Нажмите кнопку ПУСК, отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Нормированные дискретные значения АКФ рассчитайте по формуле, приведенной в п.4.1.4.

Результаты измерений свести в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Задержка nt , мс	
Нормированная АКФ, $r(nt)$	

По результатам табл.7.6 постройте АКФ последовательности прямоугольных видеоимпульсов, сравните ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.3.3. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки Р(х) и ПУСК.

Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитайте значения ФПРВ по формуле, приведенной в п.4.1.5. Результаты измерений свести в табл.7.7.

Таблица 7.7

Номер канала, n	
p(x)	

По результатам табл.7.7 постройте ФПРВ последовательности прямоугольных видеоимпульсов, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.3.4. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки F(x), x 1 и ПУСК. Отсчитайте показания индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Рассчитайте значения ФРВ по формуле, приведенной в п.4.1.6. Результаты измерений свести в табл.7.8.

Таблица 7.8

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.7.8 постройте ФРВ последовательности прямоугольных видеоимпульсов, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.4. Измерить АКФ, ФРВ и ФПРВ для пилообразного колебания со случайным временем появления.

4.4.1. На лабораторном макете переключатель S6 поставить в положение 3, ручкой регулировки формы сигнала установить пилообразное колебание. На осциллографе переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ поставить в положение ВНУТР.2. Зарисовать наблюдаемую осциллограмму исследуемого сигнала. Далее этот переключатель поставить в положение ВНЕШ.

4.4.2. Нажмите кнопку СБРОС на приборе X6-4, а затем кнопки Б4V, ЗАДЕРЖКА 1 μ S, x 1, R₆₆, ПУСК.

Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Нормированные дискретные значения АКФ рассчитайте по формуле, приведенной в п.4.1.4.

Результаты измерений свести в табл.7.9.

Таблица 7.9

Задержка nt , мкс	
Нормированная АКФ, $r(nt)$	

По результатам табл.7.9 постройте АКФ пилообразного колебания, сравните ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.4.3. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки F(x) и ПУСК. Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитайте значения ФРВ по формуле, приведенной в п.4.1.6.

Результаты измерений свести в табл.7.10.

Таблица 7.10

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.7.10 постройте ФРВ пилообразных колебаний, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.4.4. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки P(x), x10 и ПУСК. Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитайте значения ФПРВ по формуле, приведенной в п.4.1.5. Результаты измерений свести в табл.7.11.

Таблица 7.11

Номер канала, n	
p(x)	

По результатам табл.7.11 постройте ФПРВ пилообразных колебаний, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.5. Измерить АКФ, ФРВ и ФПРВ для широкополосного шума.

4.5.1. На лабораторном макете переключатель S6 поставить в положение 4.

4.5.2. На генераторе Г2-57 сделать следующее:

- подключить кабель к регулируемому выходу \widehat{C} ;
- нажать кнопки, относящиеся к этому выходу, I, 1, x1;
- нажать кнопки ∞ , 50 кГц, x \blacklozenge ;
- поставить тумблер СЕТЬ в верхнее положение.

На осциллографе С1-55 наблюдать осциллограмму исследуемого сигнала, переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ поставить в положение ВНЕШ.

4.5.3. На приборе Х6-4 сделать следующее:

- нажать кнопки B1V, R₆₆, 1 μ S, x1;
- нажать кнопку СБРОС, а затем кнопку ПУСК.

После окончания вычислений отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Нормированные дискретные значения АКФ рассчитайте по формуле, приведенной в п.4.1.4.

Результаты измерений свести в табл. 7.12.

Таблица 7.12

Задержка nt , мкс	
Нормированная АКФ, $r(nt)$	

По результатам табл.7.12 постройте АКФ широкополосного шума, сравните ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.5.4. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки B10V, F(x), ПУСК. Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитайте значения ФРВ по формуле, приведенной в п.4.1.6.

Результаты измерений свести в табл.7.13.

Таблица 7.13

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.7.13 постройте ФРВ широкополосного шума, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.5.5. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки Р(х), x10 и ПУСК. Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитайте ФПРВ по формуле, приведенной в п.4.1.5.

Результаты измерений свести в табл. 7.14.

Таблица 7.14

Номер канала, n	
p(x)	

По результатам табл.7.14 постройте ФПРВ широкополосного шума, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.6. Измерить АКФ, ФРВ и ФПРВ для узкополосного шума.

4.6.1. На лабораторном макете переключатель S6 поставить в положение 5.

4.6.2. На осциллографе С1-55 наблюдать осциллограмму исследуемого сигнала, переключатель СИНХРОНИЗАЦИЯ поставить в положение ВНЕШ.

4.6.3. На приборе Х6-4 сделать следующее:

- нажать кнопки В1V, R₆₆, x1;
- нажать кнопку СБРОС, а затем кнопку ПУСК.

После окончания вычислений отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Нормированные дискретные значения АКФ рассчитайте по формуле, приведенной в п.4.1.4.

Результаты измерений свести в табл. 7.15.

Таблица 7.15

Задержка $nt, \text{мкс}$	
Нормированная АКФ, $r(nt)$	

По результатам табл.7.15. постройте АКФ узкополосного шума, сравните ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.6.4. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки $B10V$, $F(x)$, ПУСК. Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитайте значения ФРВ по формуле, приведенной в п.4.1.6.

Результаты измерений свести в табл.7.16.

Таблица 7.16

Номер канала, n	
$F(x)$	

По результатам табл.7.16 постройте ФРВ узкополосного шума, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

4.6.5. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки $P(x)$, $x10$, ПУСК. Отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитайте ФПРВ по формуле, приведенной в п.4.1.5.

Результаты измерений свести в табл. 7.17.

Таблица 7.17

Номер канала, n	
$p(x)$	

По результатам табл.7.17 постройте ФПРВ узкополосного шума, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5. Содержание отчета

5.1. Структурная схема лабораторной установки.

5.2. Таблицы с данными для построения АКФ, ФПРВ и ФРВ исследуемых сигналов.

5.3. Графики АКФ, ФПРВ и ФРВ сигналов.

6. Контрольные вопросы

6.1. Сформулируйте центральную предельную теорему вероятностей А.М. Ляпунова. Какое распределение вероятностей получено по пункту 4.2 лабораторной работы?

6.2. Как, зная функцию плотности распределения вероятностей, найти функцию распределения?

6.3. Запишите выражение, связывающее вероятность попадания мгновенных значений случайного процесса в заданный интервал возможных значений по заданным ФРВ и ФПРВ.

6.4. Зарисуйте ФПРВ случайного пилообразного напряжения. Какая модель ФПРВ ей соответствует?

Литература

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Дрофа, 2006, с.156-176.

2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 2000, с. 155-161.

3. Иванов М.Т. и др. Теоретические основы радиотехники. М.: Высшая школа, 2002, с. 39-43, 84-94.

4. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. (Компьютеризированный курс). М.: Форум-Инфра-М, 2005 с.119-138.