

**Объявляется набор в магистратуру
в 2021г.**

По направлению:

12.04.01 Приборостроение

Направленность (профиль) программы:

(Технологии цифрового города)

Все вопросы по почте:

ankravets@mail.ru

РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование систем ШОУ в различных режимах работы, изучение отдельных элементов системы ШОУ и оценка основных ее свойств при прохождении импульсных сигналов и воздействии импульсных помех.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Импульсная помеха

Импульсной называется помеха, состоящая из одиночных коротких импульсов произвольной формы, следующих друг за другом через значительные промежутки времени, для которых характерны неравенства

$$t_{и\ макс} \leq t_{\phi} \leq t_{п\ мин}$$

где $t_{и\ макс}$ - длительность импульсной помехи на входе приемника;
 t_{ϕ} - время установления колебаний на выходе селективной (избирательной) части приемника;
 $t_{п\ мин}$ - минимальный временной интервал между окончанием затухания реакции импульсной помехи на выходе селективной части приемника и началом действия следующего импульса помехи.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что наиболее типичной формой импульсной помехи является: апериодическая помеха, которая описывается уравнением

$$U(t) = \left. \begin{array}{l} 0 \quad \text{при } t < 0, \\ U_0 e^{-\lambda t} \quad \text{при } t \geq 0. \end{array} \right\}$$

и показана на рис. 1.

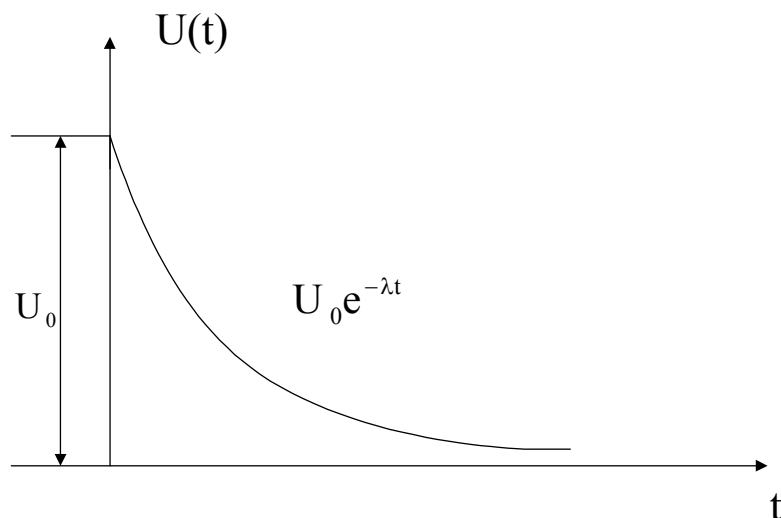


Рис. 1

Спектральная плотность амплитуд импульса помехи определяется интегралом Фурье

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U(t)e^{-j\omega t} dt = \int_0^{\infty} U(t)e^{-\lambda t} e^{-j\omega t} dt = \frac{U_0}{\lambda + j\omega t}.$$

Модуль спектральной плотности равен

$$S(\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{\lambda^2 + \omega^2}}.$$

Из графика модуля спектральной плотности импульса аperiodической помехи (рис. 2) видно, что помеха наиболее интенсивна в области низких частот. С увеличением частоты спектральная плотность монотонно уменьшается.

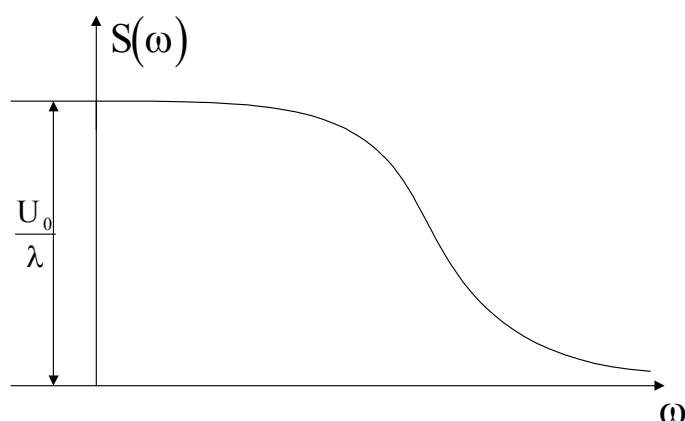


Рис. 2

2.2. Реакция избирательной системы на импульсную помеху

Импульс помехи на входе приемника - быстро изменяющееся напряжение, обладающее широким спектром. Избирательная система приемника “вырезает” из этого спектра сравнительно узкую полосу частот. Предположим, что высокочастотный тракт приемника представляет собой полосовой усилитель. Амплитудно-частотная характеристика этого усилителя приведена на рис. 3 в виде прямоугольника с основанием $\Delta\Omega_0$ и высотой K_0 .

Полосовой усилитель и его АЧХ

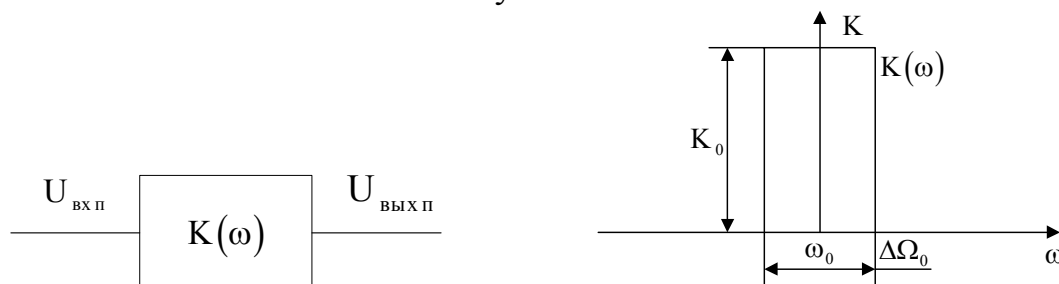


Рис. 3

Допустим, что спектральная плотность амплитуд помехи равна (рис. 4).

Спектральная плотность амплитуд импульсной помехи

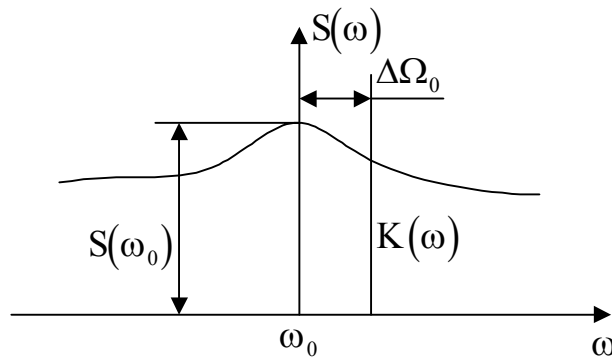


Рис. 4

Тогда импульсная помеха в бесконечно малом интервале частот может быть представлена гармоническим колебанием вида

$$dU_{\text{п}} = S(\omega) d\omega \cos[\omega t + \varphi(\omega)].$$

Идеальный полосовой усилитель пропускает к выходу лишь составляющие помехи в интервале частот $\Delta\Omega_0$.

Напряжение помехи на выходе усилителя определяется из выражения

$$U_{\text{п вых}} = \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\Omega_0}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\Omega_0}{2}} S(\omega) K_0 \cos[\omega t + \varphi(\omega) - (\omega - \omega_0)t] d\omega.$$

В пределах сравнительно узкой полосы пропускания усилителя спектральная плотность амплитуды помехи изменяется незначительно, можно положить $S(\omega) = S(\omega_0) = \text{const}$ и вынести $S(\omega_0)$ за знак интеграла. Выполнив интегрирование, получим

$$U_{\text{п вых}} = 2K_0 S(\omega_0) \frac{\sin(\Delta\Omega_0 / 2)(t - t_0)}{t - t_0} \cos[\omega_0 t + \varphi(\omega_0)], \quad (1)$$

или

$$U_{\text{п вых}} = U_{\text{мп}}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(\omega_0)],$$

где $U_{\text{мп}}(t) = 2K_0 S(\omega_0) \frac{\sin(\Delta\Omega_0 / 2)(t - t_0)}{t - t_0}$ - огибающая амплитуда помехи на

выходе избирательного усилителя.

Из выражения (1) следует, что импульсная помеха вызывает на выходе полосового усилителя высокочастотное колебание с частотой, равной центральной частоте настройки усилителя, и амплитудой, изменяющейся во времени.

Амплитуда напряжения помехи равна

$$U_{\text{м п}}(t) = 2K_0 S(\omega_0) \Delta\Omega_0 \frac{\sin(x)}{x}, \quad (2)$$

где $x = \sin(\Delta\Omega_0 / 2)(t - t_0)$.

Максимальная амплитуда помехи при $t=t_0$.

$$U_{\text{м п}}(t) = 2K_0 S(\omega_0) \Delta\Omega_0. \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует, что максимальная амплитуда выходного напряжения помехи прямо пропорциональна ширине полосы пропускания усилителя $\Delta\Omega_0$ и спектральной плотности помехи на частоте настройки усилителя $S(\omega_0)$. При широкой полосе пропускания на выход усилителя проходит большая часть спектра помехи, чем при узкой, этим и объясняется увеличение ее амплитуды с расширением полосы пропускания.

Длительность помехи на выходе усилителя на половинном уровне от максимума можно определить по формуле

$$\tau_{\text{и}} = \frac{8}{\Delta\Omega_0} \approx \frac{1,27}{\Delta F_0}. \quad (4)$$

Таким образом, расширение полосы пропускания усилителя приводит к уменьшению длительности импульса помехи па его выходе.

Итак, на выходе широкополосного усилителя импульсы помехи имеют большое пиковое значение и малую длительность. При узкой полосе пропускания, наоборот, импульсы уменьшаются по амплитуде и растягиваются по времени. Высокочастотное заполнение импульсов имеет частоту, равную собственной частоте резонансного усилителя.

Указанные выше закономерности справедливы для любого типа резонансного усилителя.

На основании результатов исследования прохождения импульсной помехи через усилитель, влияния полосы пропускания усилителя на амплитуду импульсной помехи и ее длительность для борьбы с импульсными помехами была предложена система ШОУ.

2.3. Система ШОУ

В состав системы ШОУ входят три блока: широкополосный усилитель, ограничитель (по максимуму) и узкополосный усилитель. Первый и третий блоки являются резонансными усилителями. Структурная схема системы ШОУ и основные характеристики ее блоков приведены на рис. 5.

Структурная схема системы ШОУ и ее характеристики

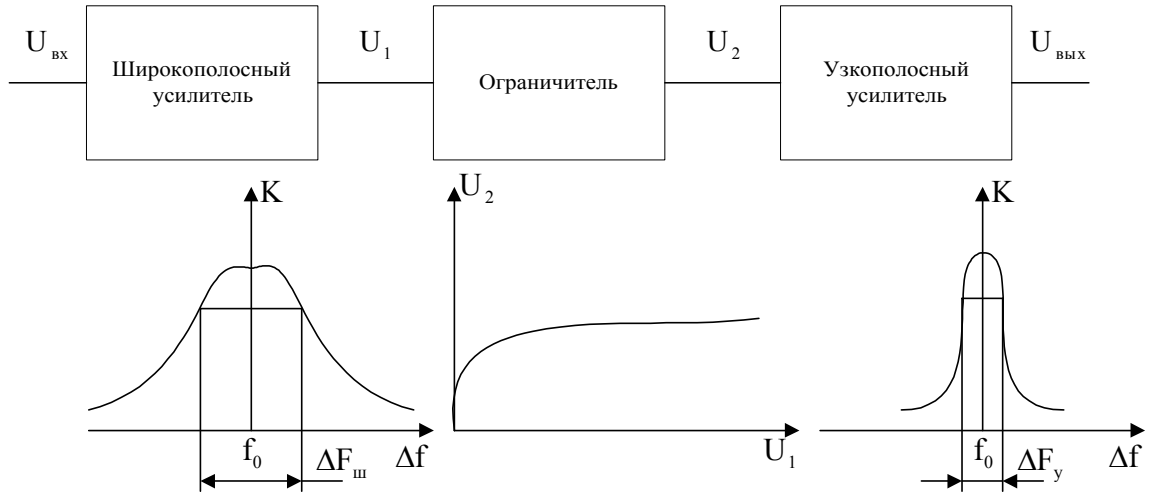


Рис.5

Определим отношение сигнала к импульсной помехе па выходе узкополосного усилителя с полосой пропускания ΔF_y . Предположим, что на входе усилителя действуют длительный сигнал и кратковременная помеха. Амплитуды сигнала и помехи соответственно равны $U_{m c}$ и $U_{m п}$. Ширина спектра сигнала меньше или равна ширине полосы пропускания усилителя. Поэтому амплитуда напряжения сигнала на выходе $U_{m c \text{ вых}} = K_0 U_{m c}$.

Максимальная амплитуда напряжения помехи на выходе усилителя $U_{m п \text{ вых}} = K_0 S(\omega_0) \Delta \Omega_y$, где $\Delta \Omega_y = 2\pi \Delta F_y$. Запишем отношение амплитуды сигнала к максимальной амплитуде помехи на выходе усилителя.

$$\left(\frac{C}{\Pi}\right)_{\text{вых}} = \frac{U_{m c \text{ вых}}}{U_{m п \text{ вых}}} = \frac{U_{m c}}{S(\omega_0) \Delta \Omega_y}. \quad (5)$$

Выигрыш в отношении сигнала к помехе, обеспечиваемый узкополосным усилителем, равен

$$B = \left(\frac{C}{\Pi}\right)_{\text{вых}} / \left(\frac{C}{\Pi}\right)_{\text{вх}} = \frac{U_{m п}}{S(\omega_0) \Delta \Omega_y}. \quad (6)$$

$S(\omega_0)$ прямо пропорциональна амплитуде помехи, т. е.

$$S(\omega_0) = b U_{m п}, \quad (7)$$

где b - коэффициент пропорциональности, зависящий от формы импульсной помехи и частоты ω_0 . С учетом (7) формулу (6) запишем в виде

$$B = \frac{1}{b \Delta \Omega_y}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что выигрыш и отношении сигнал/помеха увеличивается с уменьшением полосы пропускания узкополосного усилителя. Минимально

возможная полоса пропускания определяется шириной спектра полезного сигнала. При этом выигрыш максимален.

Обычно напряжение помехи на входе приемника имеет порядок вольт, а напряжение полезного сигнала порядок микровольт. Поэтому, несмотря на большой выигрыш в отношении сигнал/помеха на выходе блока с узкой полосой, это отношение может быть в десятки и сотни раз меньше единицы. Если бы удалось с помощью ограничения обеспечить отношение сигнал/помеха на входе блока узкой полосы равным единице, то отношение сигнал/помеха на выходе системы “ограничитель - узкополосный усилитель” было бы равно выигрышу, обеспечиваемому узкополосным усилителем. Но ограничителями с малым пороговым уровнем в настоящее время техника радиоприема не располагает. Поэтому перед ограничителем ставится блок дополнительного усилителя, который усиливает полезный сигнал до порога ограничения ограничителя $U_{пор}$. Чтобы уменьшить энергию импульсной помехи на входе блока узкой полосы, необходимо уменьшить длительность существования помехи на выходе предварительного усилителя, т.е. увеличить его полосу пропускания. Таким образом, из-за трудностей выполнения ограничителя с необходимым малым порогом ограничения на практике используется система ШОУ. Широкополосный усилитель (ШУ) предназначен для усиления полезного сигнала до порога ограничения ограничителя (О). Для уменьшения энергии помехи на выходе ограничителя (на входе узкополосного усилителя УУ) необходимо увеличивать полосу пропускания широкополосного усилителя $\Delta F_{ш}$. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы системы ШОУ, приведены на рис. 6.

Временные диаграммы, поясняющие действие системы ШОУ

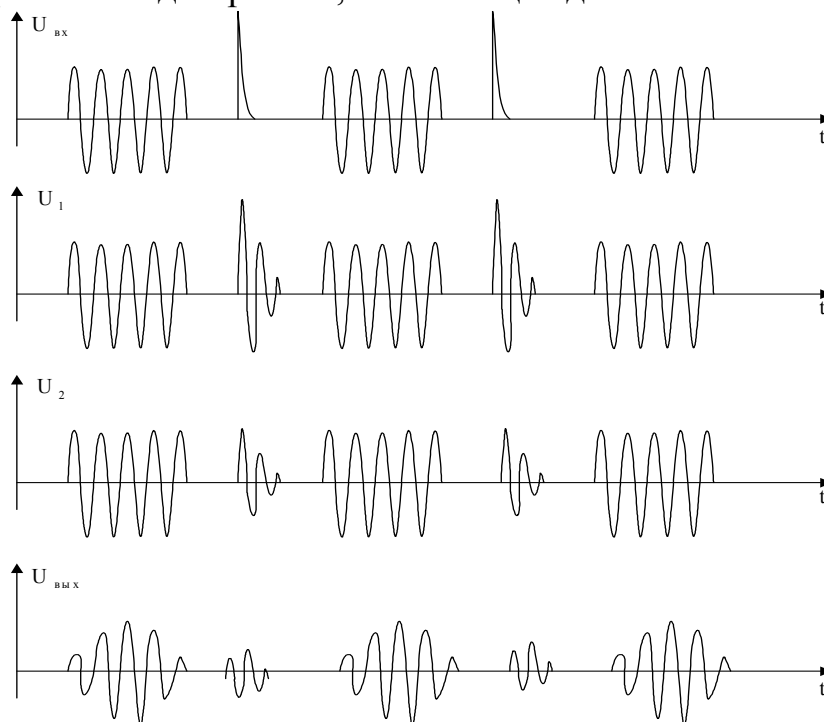


Рис. 6

Общий выигрыш в отношении сигнал/помеха $B_0 = B_{\text{б ш}} B_{\text{огр}} B_{\text{б у}}$ где
 $B_{\text{б ш}} = \frac{U_{\text{мп}}}{S_{\text{ш}}(\omega_0) \Delta \Omega_{\text{ш}}}$ - выигрыш блока с широкой полосой пропускания;
 $B_{\text{огр}} = U_{\text{мп ш}} / U_{\text{п ф}}$ - выигрыш ограничителя; $B_{\text{б у}} = \frac{U_{\text{п ф}}}{S_{\text{у}}(\omega_0) \Delta \Omega_{\text{у}}}$ - выигрыш блока с узкой полосой пропускания.

Спектральная плотность амплитуд помехи на входе узкополосного усилителя

$$S_{\text{у}}(\omega_0) = \frac{U_{\text{п}} \tau_{\text{ш}}}{\pi}, \quad (9)$$

где $\tau_{\text{ш}}$ - длительность помехи на входе блока с узкой полосой, определяемая по формуле (4); $U_{\text{п}}$ - амплитуда помехи на выходе ограничителя (на входе узкополосного усилителя). Таким образом, общий выигрыш в отношении сигнал / помеха

$$B_0 = \frac{U_{\text{мп}} K_{0\text{ш}} \pi}{U_{\text{п}} \Delta \Omega_{\text{у}} \tau_{\text{ш}}}. \quad (10)$$

Так как B_0 растет с увеличением $K_{0\text{ш}}$ то максимальный выигрыш будет соответствовать максимальному коэффициенту усиления широкополосного усилителя

$$K_{0\text{ш макс}} = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{мп}}}. \quad (11)$$

С учетом (4) и (11) выражение (10) запишем в виде

$$B_{0\text{ макс}} = \frac{U_{\text{мп}} \Delta \Omega_{\text{ш}} \pi}{8 U_{\text{мс}} \Delta \Omega_{\text{у}}}.$$

Максимально достижимое отношение сигнал/помеха на выходе системы ШОУ равно

$$\left(\frac{U_{\text{мс вых}}}{U_{\text{мп вых}}} \right)_{\text{ макс}} = \frac{B_{0\text{ макс}} U_{\text{мс}}}{U_{\text{мп}}} = \frac{\Delta \Omega_{\text{ш}} \pi}{8 \Delta \Omega_{\text{у}}} \approx 0,4 \frac{\Delta F_{\text{ш}}}{\Delta F_{\text{у}}}.$$

Чем больше $\Delta F_{\text{ш}} / \Delta F_{\text{у}}$, тем больше отношение сигнал / помеха на выходе системы ШОУ. На практике $\Delta F_{\text{ш}}$ ограничена интервалом частот, выделяемым для данной станции. Увеличение $\Delta F_{\text{ш}}$ сверх выделенной полосы приведет к приему помех от соседних (мешающих) станций. Минимальная величина $\Delta F_{\text{у}}$ ограничивается шириной спектра полезного сигнала.

3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1. Определить общий выигрыш в отношении сигнала к помехе, даваемый системой ШОУ, максимально возможный выигрыш системы ШОУ, максимально достижимое отношение сигнал / помеха на выходе системы ШОУ.

2. Определить выигрыш, обеспечиваемый узкополосным усилителем, если сигнал и помеха поступают на его вход, минуя широкополосный усилитель и ограничитель. Сравнить полученный выигрыш с выигрышем, обеспечиваемым системой ШОУ.

Исходные данные для расчета приведены в таблице.

Исходные данные для расчета домашнего задания.

№ варианта	1	2	3	4	5	6
Длительность импульса сигнала τ_c на входе системы ШОУ, мкс	200	300	150	250	220	240
Длительность импульса помехи τ_n на входе системы ШОУ, мкс	10	15	12	18	30	25
Амплитуда сигнала U_{mc} на входе системы ШОУ, мкВ	20	40	60	30	50	70
Амплитуда помехи U_{mn} на входе системы ШОУ, мкВ	1,0	6,0	4,0	3,0	7,0	5,0
Коэффициент усиления широкополосного усилителя $K_{0ш}$	500	400	300	200	600	100
Амплитуда помехи U_n на выходе ограничителя, мВ	40	30	50	60	20	70
Ширина полосы пропускания широкополосного усилителя $\Delta F_{ш}$, кГц	600	700	500	400	350	200

Расчеты по 1 выполняются с использованием формул (10) - (13). При этом ширина полосы пропускания узкополосного усилителя находится по формуле

$$\Delta\Omega_y = 2\pi\Delta F_y = 2\pi \frac{5}{\tau_c}.$$

Длительность помехи на входе узкополосного усилителя определяется из выражения

$$\tau_{ш} \approx \frac{1,27}{\Delta F_{ш}},$$

где $\Delta F_{ш}$ ширина полосы пропускания широкополосного усилителя. Выигрыш, обеспечиваемый узкополосным усилителем (п. 2), определяется по формуле (6) с учетом (9). При этом необходимо учитывать, что помеха и сигнал с параметрами, указанными в таблице, действуют на входе узкополосного усилителя. Следовательно, в формуле (9) в данном случае длительность помехи $\tau_{ш}$, на

входе узкополосного усилителя равна длительности помехи на входе системы ШОУ ($\tau_{ш} = \tau_{п}$).

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На рис. 7 приведена структурная, а на рис. 8 принципиальная электрическая схемы лабораторного стенда.

Синхронизатор (рис. 7) является задающим блоком и представляет собой мультивибратор в автоколебательном режиме (АМВ), собранный на трех элементах 2И-НЕ микросхемы К555 ЛА3. Он служит для выработки импульсов, запускающих блок формирования помехи (БФП) и блок формирования сигнала (БФС) (рис. 7).

БФС представляет собой включенные последовательно два одновибратора и генератор ударного возбуждения (ГУВ). Одновибраторы собраны на микросхеме К555 АГ3, представляющую собой два одновибратора с возможностью запуска как передним фронтом синхроимпульса, так и задним фронтом и внешними времязадающими элементами. Первый одновибратор задерживает запуск второго одновибратора относительно синхроимпульса примерно на 200 мкс, что позволяет наблюдать формируемый импульс в центре экрана осциллографа. Второй одновибратор формирует видеоимпульс сигнала, а переменный резистор R 1 позволяет регулировать длительность формируемого импульса. ГУВ формирует радиоимпульс. Применение ГУВ обусловлено требованием, чтобы высокочастотное колебание сигнала и видеоимпульс сигнала имели постоянную разность начальных фаз для того, чтобы на экране осциллографа высокочастотное колебание было неподвижно относительно видеоимпульса.

БФП представляет собой включенные последовательно два одновибратора. Так же, как и в БФС одновибраторы собраны на микросхеме К555 АГ3. Первый одновибратор задерживает запуск второго одновибратора относительно синхроимпульса, а переменный резистор R2 позволяет изменять временное положение импульса помехи относительно импульса сигнала. Второй одновибратор формирует импульс помехи, а переменный резистор R3 позволяет регулировать длительность формируемого импульса. Резисторы R4 и R5 позволяют регулировать амплитуды соответственно помехи и сигнала.

Исследуемая система ШОУ служит для защиты приемного устройства от коротких мощных импульсов помех. Как видно из рис. 7 и 8, система состоит из широкополосного усилителя (ШУ) на VT 6, ограничителя (О) на VT 8 и 9, узкополосного усилителя (УУ) на VT 14. Резистор R6 позволяет изменять уровень порога ограничения, а резистор R7 регулирует ширину полосы пропускания широкополосного усилителя. Для устранения влияния измерительных приборов на работу каскадов установлены эмиттерные повторители.

5. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

5.1. Лабораторное задание

1. Снять частотную характеристику широкополосного усилителя.
2. Снять частотную характеристику узкополосного усилителя.
3. Снять амплитудную характеристику ограничителя.
4. Снять амплитудную характеристику широкополосного усилителя и оценить его динамический диапазон при воздействии помех.
5. Произвести по осциллографу наблюдение за прохождением через систему ШОУ импульсного сигнала и помехи, визуально оценить наблюдающиеся при этом искажения сигнала.
6. Дать количественную оценку выигрыша в отношении сигнала к помехе при прохождении сигнала и помехи через систему ШОУ.
7. Определить влияние ограничителя на отношение сигнал/помеха. Сравнить отношения сигнал/помеха с включенным ограничителем и без ограничителя.

5.2. Методические указания к выполнению лабораторного задания

1. Сигнал с частотой 465 кГц и амплитудой 10 мВ от генератора Г4-18А подать на вход широкополосного усилителя. На выход усилителя включить вольтметр ВЗ-38. Изменяя в необходимых пределах частоту сигнала, определить коэффициент усиления каскада на различных частотах. Построить график зависимости $K_{шy} = \varphi(f)$.

Характеристику следует снимать при отсутствии сигналов с БФС и помехи с БФП. (Потенциометры R4 и R5 в крайнем левом положении).

2. Частотные характеристики узкополосного усилителя снимаются аналогично п. 1, подавая сигнал на , а снимая с . Построить график зависимости $K_{yy} = \varphi(f)$.

3. На вход системы ШОУ подать сигнал с БФС (переключатель S2 в положении 2. Изменяя уровень этого сигнала (с помощью потенциометра R5) измерить его величину на входе и выходе ограничителя с помощью осциллографа С1-72, подключаемого к соответствующим эмиттерным повторителям. Построить график зависимости $U_{вых} = \varphi(U_{вх})$. Определить порог ограничения.

4. На вход широкополосного усилителя подать видеоимпульсы с БФП, к выходу усилителя подключить осциллограф С1-72. Осциллографическим методом измерить амплитуду помехи на выходе каскада в зависимости от амплитуды помехи на входе. Построить график зависимости $U_{п\ вых} = \varphi(U_{п\ вх})$.

5. На вход системы ШОУ подать сигнал с БФС. Подключая осциллограф С1-72 поочередно ко входу системы ШОУ, к выходу широкополосного усилителя, к выходу ограничителя и выходу узкополосного каскада, наблюдать

за прохождением импульсного радиосигнала через систему, зарисовать осциллограммы в соответствующих точках.

6. Аналогично п. 5 проводится наблюдение соответствующих осциллограмм в различных точках системы ШОУ при одновременном прохождении сигнала и помехи. Зарисовать соответствующие осциллограммы. Измерить отношения сигнал / помеха на входе и выходе системы (для двух значений полосы пропускания широкополосного усилителя) и оценить выигрыш, который дает система ШОУ. Сравнить его с теоретически рассчитанной величиной $B \approx 0,4 \frac{\Delta F_{ш}}{\Delta F_{y}}$. Эти же расчеты и измерения провести при прохождении сигнала и

помехи через систему без ограничителя (S2 в положении 1).

7. Используя данные, полученные в п. 6, оценить влияние ограничителя на прохождение сигнала и помехи через систему. Определить отношение $B_{с о п р} / B_{б е о п р}$ для двух значений полос пропускания широкополосного усилителя.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1.Схемы электрические принципиальные исследуемых каскадов ШОУ (узкополосного усилителя, ограничителя, широкополосного усилителя).

2.Расчеты в соответствии с домашним заданием.

3.Экспериментальные данные с пояснительными надписями.

4.Краткие выводы, содержащие анализ, расчетных и экспериментальных данных с указанием возможных причин их различия.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Объяснить назначение отдельных блоков лабораторного стенда.

2.Объяснить влияние полосы пропускания усилителя на амплитуду и длительность помехи на его выходе.

3.Объяснить назначение и принцип работы амплитудного ограничителя.

4.Объяснить необходимость и основное назначение широкополосного усилителя в системе ШОУ.

5.Объяснить необходимость и основное назначение узкополосного усилителя в системе ШОУ.

6.Как оценивается выигрыш системы ШОУ через соотношения сигнал / помеха и полосы пропускания ее каскадов?

7.Как влияет узкополосный усилитель на искажения радиоимпульса?

8.Какие предельные соотношения сигнал/помеха могут быть реализованы на выходе системы ШОУ?

9.Какими параметрами характеризуется импульсная помеха и какие формы она может иметь?

10.Какова реакция избирательной системы на импульсную помеху?

11. Как влияет соотношение ширины спектра импульсного сигнала и полосы пропускания усилителя на форму и амплитуду выходного сигнала?

12. Какова связь длительности импульсной помехи и ее пикового значения с полосой пропускания усилителей?

13. Из каких условий выбирается полоса пропускания широкополосного усилителя?

14. Какова связь выигрыша в отношении сигнала к помехе каскада с полосой пропускания узкополосного усилителя?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л. С. Гуткин, В. Л. Лебедев, В. И. Сифоров. Радиоприемные устройства. Часть I. - М., 1961. - С. 389-400, 406-407.

2. В. В. Палшков. Радиоприемные устройства. - М., 1984. - С. 255-260.

3. Радиоприемные устройства /Под ред. А. Г. Зюко. - М., 1975. - С. 272-278,

4. Гарнакьян А.А., Положенцев Р.Д. Руководство к лабораторной работе "Исследование системы ШОУ". - Таганрог: ТРТИ, 1988. - 15с. + 5 вкл.