Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 08.09.2026 03:49:06
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

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

Кафедра биомедицинской инженерии

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
«11» 04 _____ 2023 г.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Научно-исследовательская работа» для студентов направления подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

Курск 2023

УДК 004.93:61

Составители: С.А. Филист.

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент А.В. Киселев

Научно-исследовательская работа: методические указания к практическим занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.А. Филист. - Курск, 2023. - 45 с.

Предназначено для студентов направления подготовки 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» по дисциплине «Научно-исследовательская работа». Может быть использована аспирантами, обучающимися по направленностям 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации и 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,6. Уч.-изд. л. 2,4. Тираж 100 экз. Заказ 612.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Практическое занятие №1 «Операционные усилители»

Цель работы: научиться собирать макеты неинвертирующего и инвертирующего усилителей, усилителя с дифференциальным входом и повторителя напряжения, а также вычислять и измерять идеализированный коэффициент усиления этих схем. Научиться компенсировать напряжение сдвига (настраивать нуль) операционного усилителя μA741 (или подобного ему).

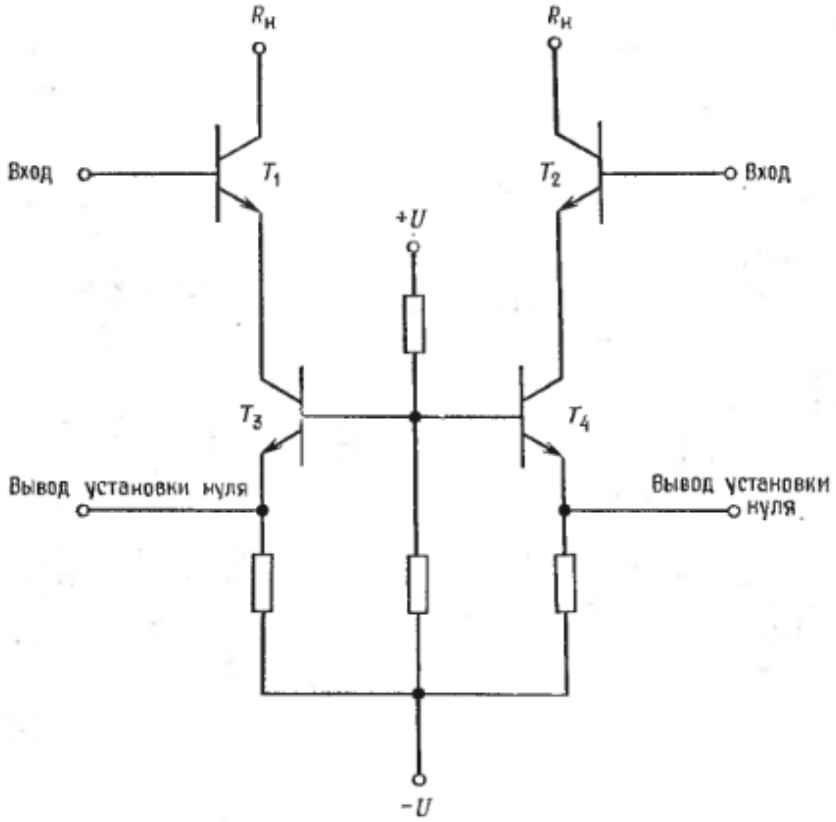


Рисунок 1 – Схема компенсации $U_{сдв}$ в операционном усилителе μA741

Оборудование:

1. Операционный усилитель μA741 фирмы Fairchild или его аналог и его описание;
2. Набор сопротивлений класса точности 2%;
3. Источник питания ± 15 В (постоянного тока);
4. Вольтметр или осциллограф, на которых можно измерять малые постоянные напряжения (5 мВ);
5. Генератор стандартных сигналов;
6. Потенциометр на сопротивление 10 кОм;

7. Макетная панель, например EL Instruments SK-10, установленная на шасси размером $5 \times 8^{1/2}$ дюйма (приблизительно $12{,}5 \times 21$ см).

Компенсация напряжения сдвига операционного усилителя μA741

Напряжение сдвига возникает внутри операционного усилителя. Чтобы компенсировать его, к схеме надо приложить такое внешнее напряжение, которое погасило бы внутренне напряжение сдвига. Существует несколько способов компенсации.

Возможность компенсации напряжения сдвига $U_{сдв}$ в операционном усилителе μA741 основана на том факте, что $U_{БЭ}$ (напряжение база-эмиттер биполярного транзистора) растет при возрастании I_K^2 (ток коллектора биполярного транзистора). Соответствующая схема показана на рисунке 1. Транзисторы T_3 и T_4 на этой схеме служат источниками постоянного тока, обеспечивающими токи эмиттеров входных транзисторов соответственно T_1 и T_2. Разбаланс напряжений $U_{БЭ}$ транзисторов T_1 и T_2 компенсируется подстройкой токов, задаваемых от источников неизменного тока T_3 и T_4. В операционном усилителе μA741 такая подстройка осуществляется с помощью потенциометра 10 кОм, который включают между выводами установки нуля усилителя, при этом на среднюю точку потенциометра подается напряжение – U, как показано на рисунке 2.

Изменяя положение движка потенциометра, можно менять эффективное сопротивление эмиттеров источников неизменного тока, отчего меняется и ток этих источников. Движок потенциометра перемещают до тех пор, пока напряжение $U_{БЭ}$ транзисторов T_1 и T_2 не окажутся одинаковыми: тогда и напряжение сдвига будет скомпенсировано. Такой способ компенсации напряжения сдвига используется во многих интегральных схемах операционных усилителей.

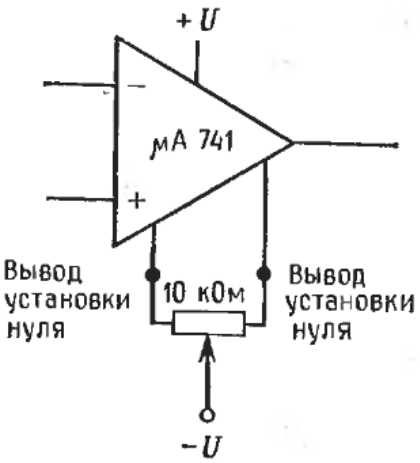


Рисунок 2 – Схема подключения внешнего потенциометра для установки нуля сдвига

При выполнении настройки нуля заземляется вход всей схемы, но не выходы операционного усилителя. После того как настройка нуля осуществлена, связь входа схемы с землей, естественно, должна быть удалена, прежде чем на схему будет подан входной сигнал.

Порядок выполнения работы:

1. Компенсация сдвига.

а) Соберите схему с операционным усилителем μA741, как показано на рисунке 3. Перед подсоединением операционного усилителя еще раз проверьте цоколевку микросхемы по описанию. Замерьте выходное напряжение и запишите его величину.

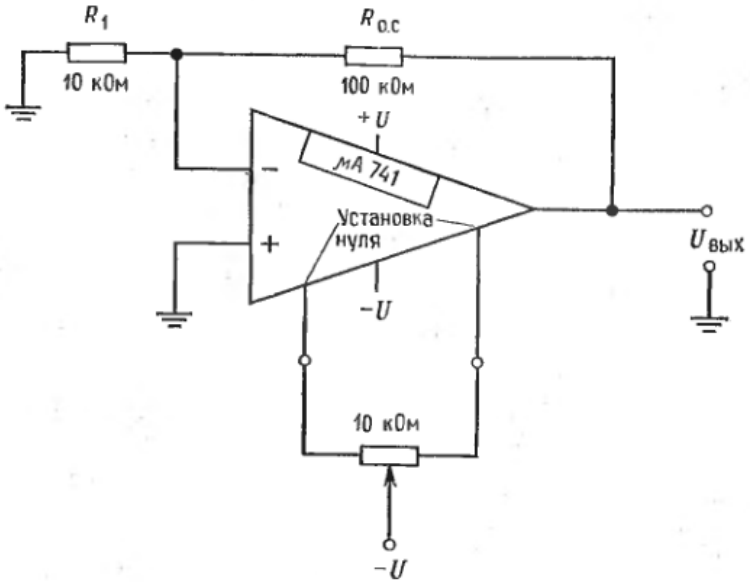


Рисунок 3 – Схема установки нуля усилителя

б) Перемещайте движок потенциометра 10 кОм до тех пор, пока выходное напряжение не станет равным нулю.

в) Вычислите коэффициент усиления с обратной связью для схемы 3, для чего используйте соотношение $К_{о.с.} = R_{о.с.} / R_1 + 1$.

г) Вычислите напряжение сдвига в схеме до компенсации. Отсоедините среднюю точку потенциометра установки нуля сдвига, измерьте $U_{вых}$, которое появляется за счет $U_{сдв}$, после чего восстановите соединение потенциометра. Используйте соотношение $U_{сдв} = U_{вых} / К_{о.с.}$.

2. Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя.

а) Для схемы, собранной в пункте 1, определите $R_{о.с.}$, необходимые для получения коэффициентов усиления усилителя с обратной связью, равных 10 и 100.

б) Поставьте в схему эти сопротивления, отсоедините неинвертирующий вход от земли и измерьте коэффициент усиления по переменному току.

в) Вычислите величину R_1, необходимую для того, чтобы коэффициент усиления с обратной связью был равен 11, если $R_{о.с.} = 500$ КОм.

г) Измерьте коэффициент усиления схемы с обратной связью по переменному току при найденном значении R_1. При коэффициенте усиления $К_{о.с.}$, установленном на значении 11, вычислите и измерьте выходное напряжение при постоянном напряжении 0,5 В на входе. Обратите внимание на полярность выходного сигнала.

3. Повторитель напряжения.

а) Соберите схему, показанную на рисунке 4, но не отсоединяйте схему компенсации напряжения сдвига.

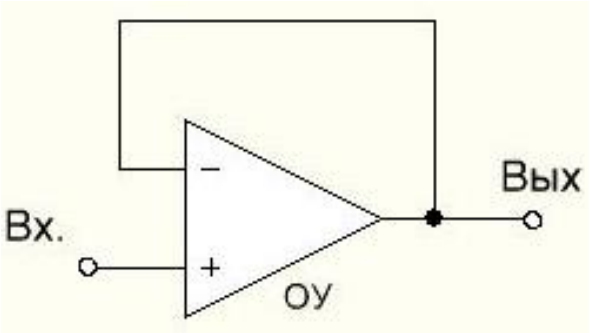


Рисунок 4 – Повторитель напряжения

б)Подайте входное напряжение (сначала переменное, затем постоянное) на вход системы, измерьте и запишите значения входных и выходных напряжений. Как соотносятся для двух сигналов (постоянного и переменного) отношения $U_{вых} / U_{вх}$?

в)Поставьте сопротивление между выходом и инвертирующим входом, как показано на рисунке 5, и повторите пункт б). Изменится ли коэффициент усиления с обратной связью? Почему?

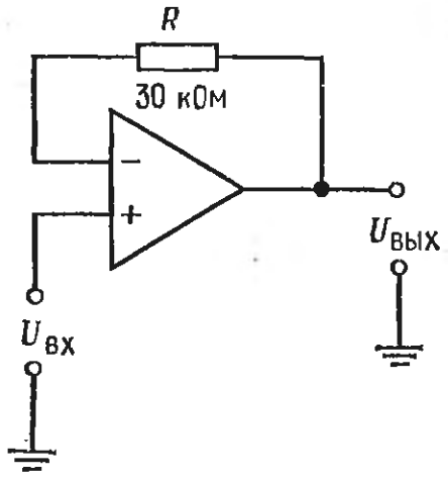


Рисунок 5 – Повторитель с сопротивлением обратной связи

4. Инвертирующий усилитель.

а)Включите операционный усилитель μA741 по схеме, показанной на рисунке 6 (сохранив цепь компенсации $U_{сдв}$).

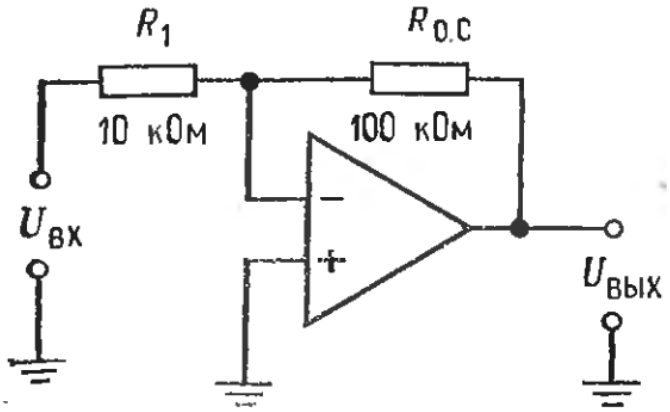


Рисунок 6 – Инвертирующий усилитель

б)Вычислите и измерьте коэффициент усиления $К_{о.с.}$ схемы ($К_{о.с.} = -R_{о.с.} / R_1$). Как этот коэффициент усиления связан с $К_{о.с.}$ неинвертирующего усилителя при тех же значениях R_1 и $R_{о.с.}$?

в) Вычислите величину R_1, необходимую для получения коэффициента усиления, равного 20, если $R_{о.с.} = 200$ кОм. Вычислите и измерьте $К_{о.с.}$ при этих значениях R_1 и $R_{о.с.}$.

г) Поставьте $R_{о.с.} = 100$ кОм и $R_1 = 10$ кОм. Измерьте величину и полярность выходного напряжения при постоянном напряжении 0,5 В на входе.

5. Усилитель с дифференциальным входом.

а) Соберите схему, показанную на рисунке 7 (Удостоверьтесь, что $U_{сдв}$ компенсировано. $U_{вых} = (R_{о.с.}/R_1)\cdot(U_2 - U_1)$.

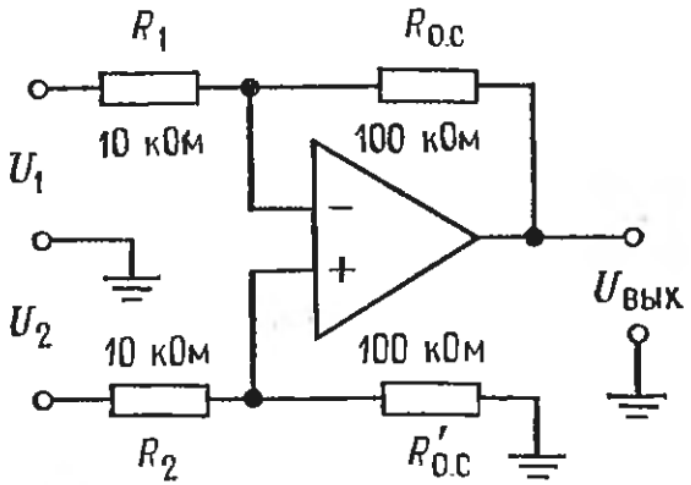


Рисунок 7 – Усилитель с дифференциальным входом

б) Вычислите и измерьте выходное напряжение при $U_1 = +0{,}2$ В и $U_2 = -0{,}3$ В (постоянных). Для установки U_1 и U_2 можно использовать делители напряжения или потенциометры.

в) Вычислите и измерьте выходное напряжение при $U_1 = +0{,}2$ В и $U_2 = +0{,}3$ В (постоянных).

г) Какими должны быть $R_{о.с.}$ и $R'_{о.с.}$ для того, чтобы имело место равенство $U_{вых} = 20(U_2 - U_1)$, если $R_2 = R_1 = 20$ кОм. Поставьте эти сопротивления в схему и измерьте $U_{вых}$ при постоянных напряжениях $U_1 = +0{,}1$ В и $U_2 = -0{,}1$ В.

д) Какие значения $R_{о.с.}$ и $R'_{о.с.}$ следовало бы выбрать, если нужно, чтобы выходной сигнал был вдвое больше по отношению к U_1, чем по отношению к U_2, при $U_1 = U_2$?

Напоминание:

$$U_{вых} = [R'_{о.с.}/(R_2 + R'_{о.с.})](1 + R_{о.с.}/R_1)U_2 - (R_{о.с.}/R_1)U_1,$$

Выберите $R_{о.с.}$ и найдите $R'_{о.с.}$; пусть $R_{о.с.} = 100$ кОм, $U_1 = U_2$ и $R_{о.с.}$, R_1 и R_2 известны. Тогда:

$$10 = 2[R'_f/(10\text{ кОм} + R'_f)] \cdot 11, \quad 10/22 = R'_f/(10\text{ кОм} + R'_f),$$

$$R'_f = 4{,}54\text{ кОм} + 0{,}454 \cdot R'_f, \quad R'_f = 4{,}54\text{ кОм}/0{,}545 = 8{,}33\text{ кОм}.$$

Поставьте эти сопротивления в схему и подтвердите ваш ответ измерением.

Контрольные вопросы:

1. Что такое операционный усилитель?
2. Какие в операционном усилителе основные части?
3. Перечислите свойства основных частей операционного усилителя.
4. Сколько выводов может быть в операционном усилителе?
5. Перечислите свойства выводов операционного усилителя?
6. Что такое напряжение сдвига?
7. Что такое ток сдвига?
8. Что такое коэффициент усиления?
9. Что такое цепь обратной связи?
10. По какой формуле определяется коэффициент усиления?
11. Приведите блок-схему операционного усилителя.
12. Что называется синфазными сигналами?
13. Что такое входное напряжение сдвига?
14. Что такое входной ток смещения?
15. Что характеризует коэффициент ослабления синфазных входных напряжений?

Практическое занятие №2 «Отрицательная обратная связь и внешняя компенсация сдвига»

Цель работы: научиться строить внешнюю цепь компенсации напряжения сдвига, измерять коэффициент усиления без обратной связи и сравнивать фактический и идеальный коэффициенты усиления усилителя с обратной связью.

Оборудование:

1. Операционный усилитель μA741 или его аналог и его паспорт;
2. Набор сопротивлений с допуском 2%;
3. Источник питания +15В (постоянного тока);
4. Вольтметр или осциллограф, способный измерять постоянные и переменные напряжения 5 мВ;
5. Генератор сигналов;
6. Потенциометр сопротивлением от 10 до 50 кОм;
7. Макетная панель, например EL Instruments SK-10, смонтированная на шасси.

Порядок выполнения работы:

1. а) Собрать схему, приведенную на рисунке 8, для измерения усиления усилителя без обратной связи. $U_{вх}$ должно быть сигналом переменного тока с частотой не выше 10 Гц и большой амплитудой (удвоенная амплитуда – около 15 В). Коэффициент усиления усилителя с обратной связью равен 1; поэтому сдвиг не будет иметь существенного значения в схеме измерения коэффициента усиления усилителя без обратной связи. Сопротивления 99 и 1 кОм работают как делитель напряжения. Будем иметь $U_н$, а входное напряжение усилителя $U_д$ будет равно $U_н/100$. Следовательно, коэффициент усиления усилителя без обратной связи будет равен $A = U_{вых}/(U_д/100) = U_{вых}/U_д$. Тщательно измерить $U_{вых}$ и $U_н$, рассчитать коэффициент усиления усилителя без обратной связи записать его значение.

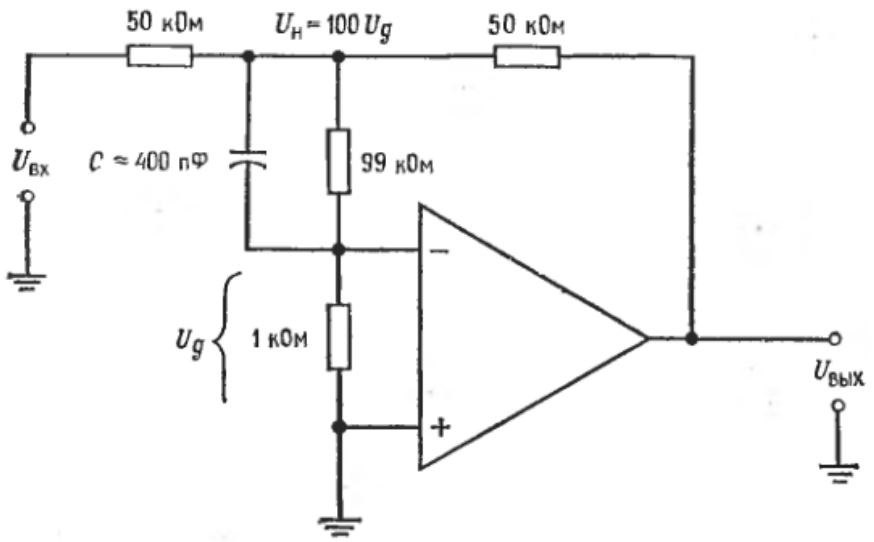


Рисунок 8 – Схема измерения коэффициента усиления усилителя без обратной связи

б) Собрать инвертирующий усилитель по схеме на рисунке 9. Взять $R_{о.с.} = 1$ МОм и рассчитать R_1 для $К_{о.с.} = 1000$. Рассчитать R_2 и R_3 для $R_4 = 200$ кОм и $R_п = 50$ кОм.

Примечание: Пренебрегаем сдвигом нуля на входе усилителя μA741, поскольку практически можно свести к нулю напряжение сдвига выхода с помощью внешней цепи установки нуля.

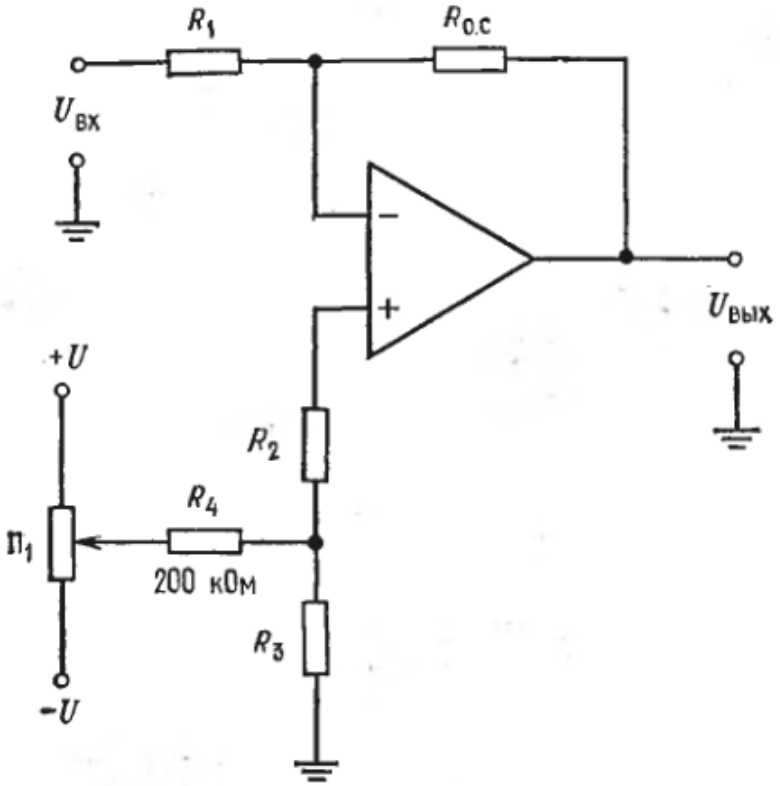


Рисунок 9 – Схема настройки нуля инвертирующего усилителя

в) Заземлить вход схемы и установить нуль выхода.

г) Измерить коэффициент усиления усилителя с замкнутой обратной связью при переменном входном напряжении, амплитуда которого равна 0,01 В, а частота 5 Гц.

д) Рассчитать коэффициент усиления усилителя с замкнутой обратной связью для схемы по пункту г), используя следующие выражения: $K_{о.с.} = A_{эфф}/(1 + A_{эфф} \cdot \beta)$, где $\beta = R_1 / R_{о.с.}$ и $A_{эфф} = A \cdot R_{о.с.}/(R_1 + R_{о.с.})$. Как этот расчет согласуется с вашими измерениями?

2. а) Собрать схему, приведенную на рисунке 10, и настроить нуль усилителя.

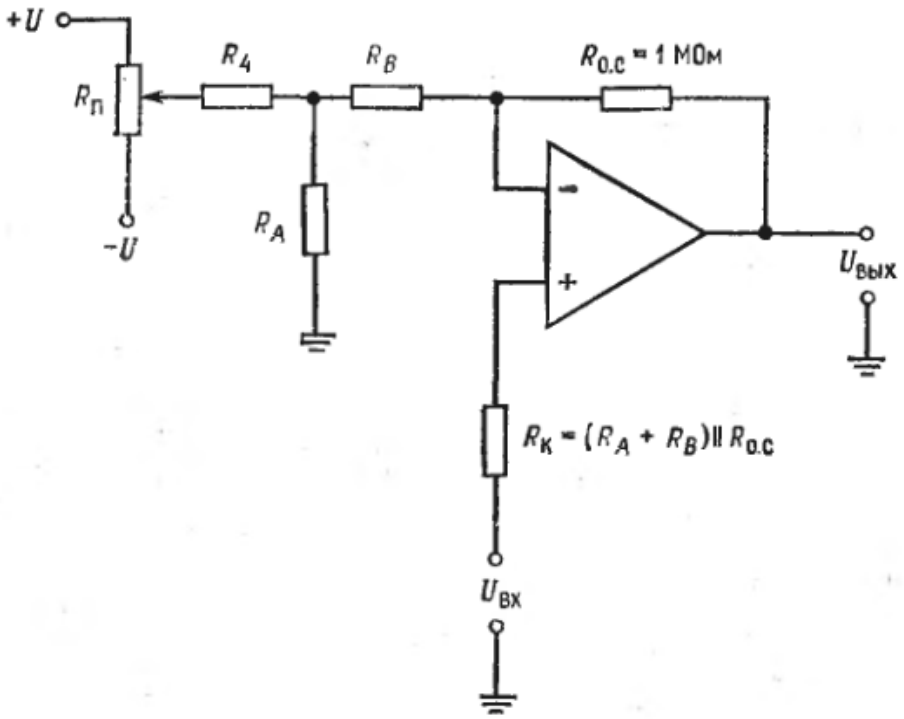


Рисунок 10 – Схема настройки нуля неинвертирующего усилителя.

$R_4 \approx 200$ кОм, $R_A + R_B \approx 10$ кОм, $R_A = R_4(U_{сдв.\,макс}/|U|)$,

$R_п \approx 20 \to 50$ кОм.

б) Рассчитать идеальный коэффициент усиления усилителя с обратной связью, используя выражение:

$$K_{о.с.} = [R_{о.с.} + (R_A + R_B)]/(R_A + R_B).$$

в) Рассчитать коэффициент усиления усилителя с обратной связью, используя полное выражение для коэффициента усиления

$K_{о.с.} = A/(1 + A \cdot \beta)$, где $\beta = R_1/(R_1 + R_{о.с.})$ (напомним, что $R_1 = R_A + R_B$).

г) Измерить коэффициент усиления усилителя с замкнутой обратной связью. Как согласуются данные по пунктам б, в, г.

Контрольные вопросы

1. Что такое отрицательная обратная связь?
2. Как рассчитать отрицательную обратную связь?
3. Что такое ограниченный коэффициент усиления?
4. Что такое дифференциальный усилитель?
5. В чем отличие инвертирующего усилителя от неинвертирующего?
6. Начертите цепь внешней компенсации сдвига инвертирующего усилителя?
7. Как влияет отрицательная обратная связь на коэффициент усиления?
8. Как влияет отрицательная обратная связь на входное сопротивление?
9. Как влияет отрицательная обратная связь на выходное сопротивление?
10. Чему равно входное сопротивление инвертирующего усилителя?
11. Как влияет коэффициент усиления разомкнутого усилителя на величину коэффициента усиления усилителя с отрицательной обратной связью?
12. Чем реальный инвертирующий усилитель отличается от идеального?
13. Что такое внешняя компенсация сдвига?
14. Чему равен тое смещения неинвертирующего входа?
15. Объясните принцип работы схемы внешней компенсации сдвига?

Практическое занятие №3 «Характеристики, зависящие от частоты»

Цель работы: научиться проверять постоянство произведения усиления на полосу пропускания и экспериментально подтвердить эффекты, связанные с превышением скорости нарастания. Также научиться обнаруживать самовозбуждение нескорректированного усилителя и организовывать частотную коррекцию усилителя.

Оборудование:

1. Операционный усилитель μA741 фирмы Fairchild или аналогичный ему и его описание (заводской паспорт);
2. Операционный усилитель фирмы Texas Instruments TL080 или аналогичный ему и его заводской паспорт;
3. Источник питания ± 15 В постоянного тока (подстраиваемый);
4. Осциллограф универсальный, пригодный для измерения сигналов постоянного и переменного тока с амплитудой 2 мВ;
5. Генератор сигналов;
6. Потенциометры на 10 кОм;
7. Макетная панель, например EL Instruments SK-10, установленная на шасси;
8. Набор прецизионных сопротивлений;
9. Набор металлопленочных конденсаторов.

Порядок выполнения работы

1. Измерение коэффициента усиления без обратной связи.

а) Так как диапазон возможных значений коэффициента усиления без обратной связи ИС операционного усилителя довольно велик, сначала проведем его измерение с допустимой точностью. Соберите схему, показанную на рисунке 11, и измерьте коэффициент усиления без обратной связи.

б) Используйте этот усилитель в пункте 2 данной работы.

Примечание: при возникновении неустойчивости может оказаться необходимым уменьшить сопротивление 1 Мом или измерить С, сохранив значение R_z:

$$A = U_{вых} / (U_c / 100) = U_{вых} / U_д,$$

если $R_z = 1$ МОм. Общее выражение для А при произвольных R_z и R_y:

$$A = U_{вых} / [U_c / (R_z / R_y)].$$

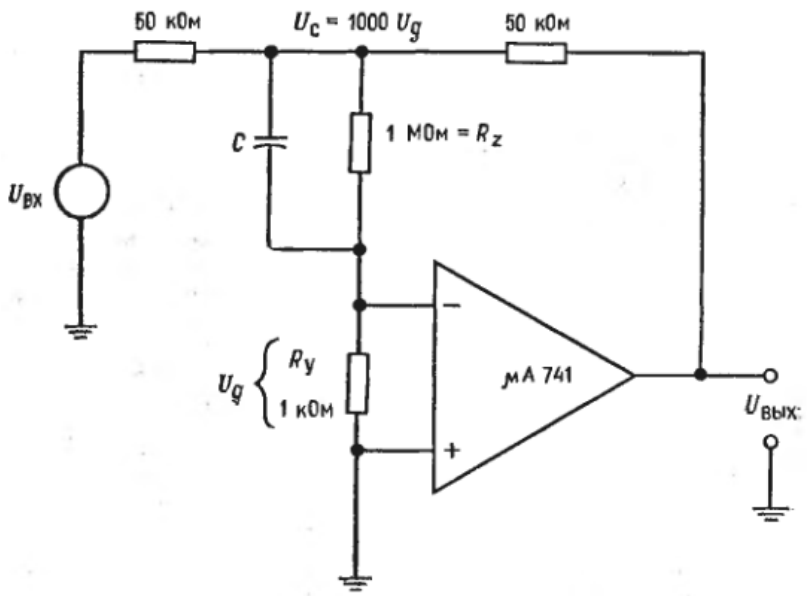


Рисунок 11 – Схема для измерения коэффициента усиления без обратной связи. $C \approx 200$ пФ. Частота $U_{вх}$ от 2 до 6 Гц.

2. Произведение усилителя на полосу пропускания.

а) Соберите схему неинвертирующего усилителя (рисунок 12) с операционным усилителем μA741 или аналогичным ему при $R_1 = 10$ кОм. Подберите такое $R_{о.с.}$, чтобы получить $K = 200$, и установите нуль сдвига.

Указание: а) Подстройте входное напряжение так, чтобы получить $U_{вых} \le 1$ В (амплитудное значение), и используйте его при выполнении всего пункта 2.

б) Измерьте $f_{1\,о.с.}$ и рассчитайте f_1, пользуясь соотношением $f_{1\,о.с.} = f_1(1 + A \cdot \beta)$. (Это сделать проще, чем непосредственно измерить f_1).

в) Вычислите произведения усиления на полосу пропускания и $f_1 A$ и $K f_{1\,о.с.}$.

г) Вычислите произведения усиления на полосу пропускания и $f_{1\,о.с.}$ для $К \approx 100$ и $К \approx 50$.

д) Измерьте $f_{1\,о.с.}$ при $К \approx 100$ и $К \approx 50$. Сравните измеренные и рассчитанные значения частот $f_{1\,о.с.}$ и произведений усиления на полосу пропускания.

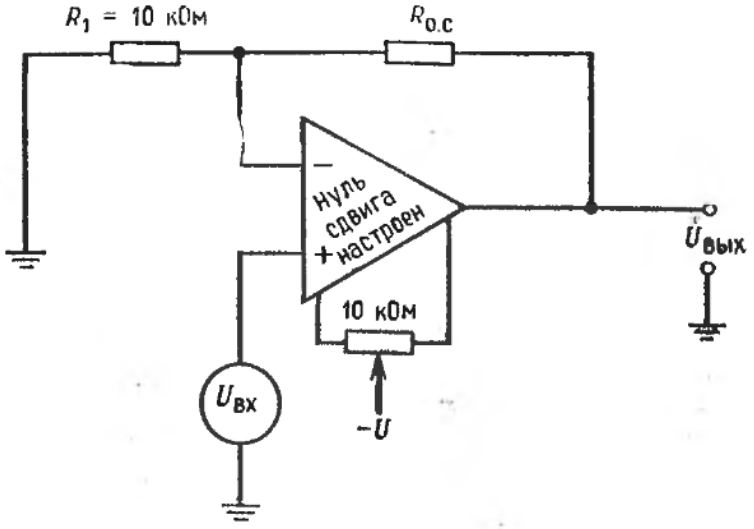


Рисунок 12 – Неинвертирующий усилитель

Указания: Вычисляйте произведение усиления на полосу пропускания, используя значения $f_{1\,о.с.}$, измеренные при выбранных К.

3. Скорость нарастания.

а) Установите в схеме по пункту 2 значения $К \approx 20$.

б) Измерьте скорость нарастания усилителя. Для этого: 1) подайте на усилитель синусоидальный сигнал; 2) подберите напряжение входного сигнала так, чтобы выходное напряжение было близким к максимально возможному для данного усилителя; 3) увеличивайте частоту синусоидального сигнала до тех пор, пока сигнал на входе не станет треугольным, как показано на рисунке 13; 4) измерьте крутизну линейного участка выходного сигнала. Эта крутизна $(\Delta U_{вых} / \Delta t)$ равна скорости нарастания.

в) Рассчитайте частоту, при которой синусоидальный сигнал начнет искажаться, если напряжение на выходе равно 5 В (амплитудное) или 10 В удвоенной амплитуды. Используйте соотношения $V = 2\pi f U_{а.\,макс}$.

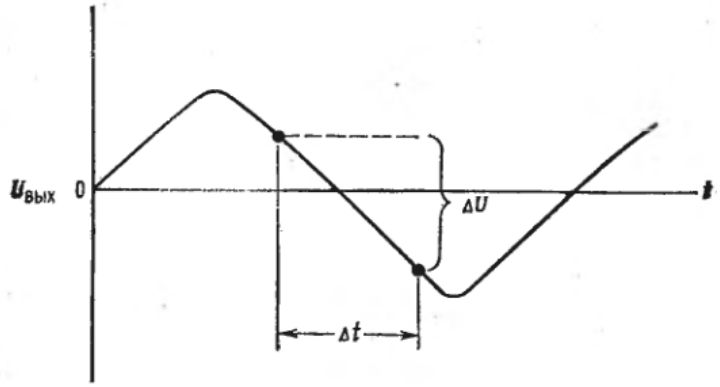


Рисунок 13 – Измерение скорости нарастания. $V = \Delta U / \Delta t$.

г) Подтвердите измерением ответ по пункту (в).

д) Рассчитайте, при каком амплитудном напряжении можно работать без искажений при полученных ограничениях, обусловленных скоростью нарастания, ели частота 50 кГц.

е) Подтвердите измерением ответ по пункту (д).

ж) Укажите возможные причины всех расхождений между рассчитанными и измеренными результатами.

4. Частотная коррекция.

а) Соберите схему инвертирующего усилителя с использованием операционного усилителя TL080 фирмы Texas Instruments или аналогичного ему. Коэффициент усиления схемы (с обратной связью) должен быть около 5. Коррекцию не делайте.

б) Наблюдайте самовозбуждение.

в) Подключите корректирующий конденсатор $C_к = 12$ пФ, как рекомендуется в заводском паспорте; способ включения конденсатора показан на рисунке 14.

г) Наблюдайте устойчивую работу схемы.

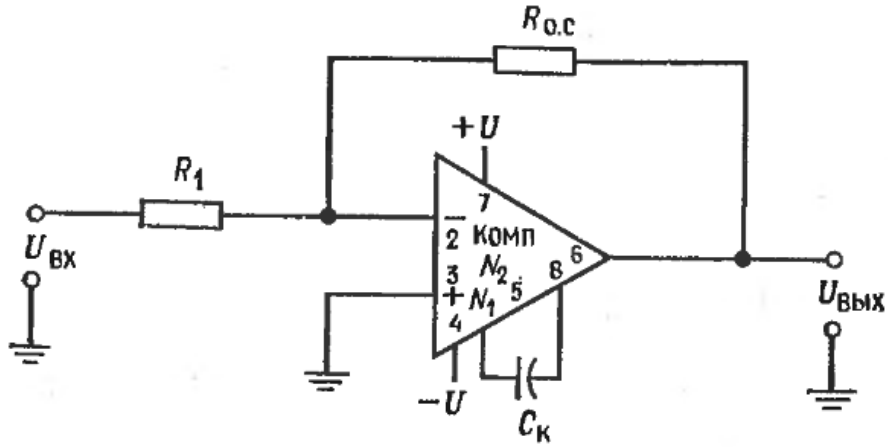


Рисунок 14 – Схема включения операционного усилителя TL080 фирмы Texas Instruments

Указания: При изготовлении ИС операционных усилителей могут возникать различия между их отдельными экземплярами. Поэтому для полного подавления генерации некоторых усилителей может оказаться необходимым умеренное изменение величины $C_к$.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют причины зависимости свойств операционных усилителей от частоты?
2. Что такое диаграмма Боде?
3. Что такое частота среза каскада?
4. Что такое полоса пропускания?
5. Каковы причины неустойчивости операционных усилителей?
6. Как строится фазовая характеристика?
7. Что такое эффект Миллера?
8. Опишите способы коррекции сдвига фазы при эффекте Миллера, на сужении полосы прямого каскада.
9. Что показывает частотная характеристика?
10. Что вынуждает коэффициент усиления падать при возрастании частоты?
11. Что такое децибел?
12. Расскажите о наклоне коэффициента усиления.
13. Что называется декадой?
14. Какой усилитель называется многокаскадным?
15. Приведите выражение для общего коэффициента усиления, учитывающее зависимость от частоты.

Практическое занятие №4 «Суммирующие схемы»

Цель работы: научиться рассчитывать компоненты инвертирующего сумматора, схемы сложения с весами, схемы сложения-вычитания и неинвертирующего сумматора и строить эти схемы таким образом, чтобы они выполняли заданные операции суммирования. Также научиться решать с помощью схем сложения-вычитания схемы двух уравнений с двумя неизвестными.

Оборудование:

1. Два операционных усилителя μA741 фирмы Fairchild или их аналоги;
2. Набор сопротивлений с точностью 2%;
3. Источник питания ±15 В постоянного тока;
4. Вольтметр или осциллограф, способный измерять небольшие напряжения (до 2 мВ постоянного тока);
5. Набор потенциометров, включающий потенциометр на 10 кОм;
6. Макетная панель, такая, как EL Intsruments SK-10, смонтированная на шасси.

В этой практической работе можно использовать и переменные напряжения, если их частота не слишком велика и все они синфазны. Получить желанное постоянное входное напряжение проще всего с помощью потенциометра, включенного по схеме на рисунке 15.

На протяжении всей работы следует проверять установку нуля сдвига при заземлении всех входов схемы.

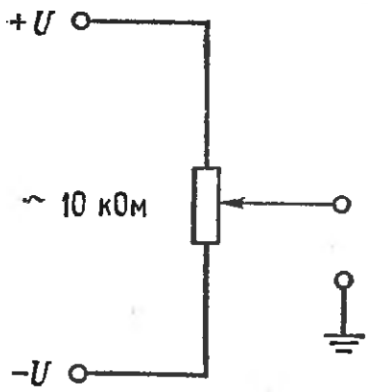


Рисунок 15 – Задание постоянного напряжения с помощью потенциометра

Порядок выполнения работы

1. Инвертирующий сумматор (с весами).

а) Соберите инвертирующий сумматор (рисунок 16), имеющий $U_{вых} = -(3U_1 + 2U_2 + 5U_3)$. Используйте $R_{о.с.} \approx 100$ кОм и вычислите необходимые величины R_1, R_2 и R_3.

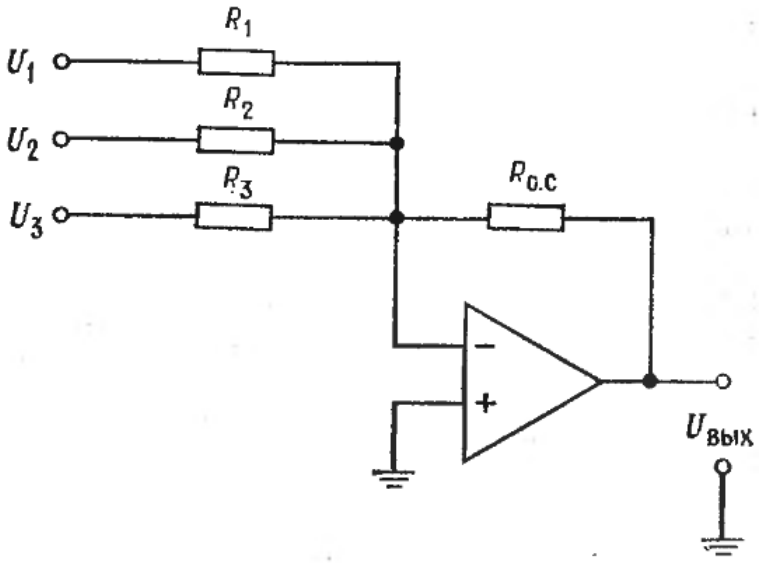


Рисунок 16 – Инвертирующий сумматор.

$$U_{вых} = -[U_1(R_{о.с.}/R_1) + U_2(R_{о.с.}/R_2) + U_3(R_{о.с.}/R_3)].$$

б) Рассчитайте и измерьте $U_{вых}$ для $U_1 = 3$ В, $U_2 = 2$ В и $U_1 = U_2 = U_3$.

2. Схема усреднения.

а) Установите в схеме на рисунке 17 $R_1 = R_2 = R_3$. Вычислите величину $R_{о.с.}$,необходимую для того, чтобы схема усредняла входные напряжения.

б) Вычислите и измерьте выходное напряжение при $U_1 = U_2 = U_3$.

3. Схема сложения-вычитания.

а) Установите $R'_{о.с.} = R_{о.с.} \approx 100$ кОм в схеме на рисунке 17. Рассчитайте R_1, R_2, R'_1 и R'_2, обеспечивающие $U_{вых} = -(2U_1 + 3U_2) + (4U_3 + 2U_4)$. Не забудьте сбалансировать схему.

б) Соберите эту схему. Установите $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 2$ В. Рассчитайте и измерьте выходное напряжение.

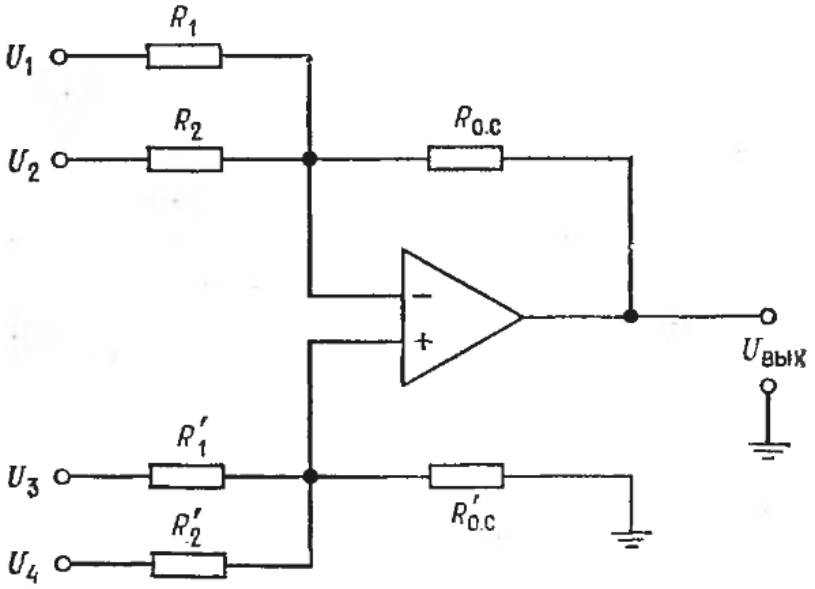


Рисунок 17 – Схема сложения-вычитания.

$$U_{вых} = -[U_1(R_{о.с.}/R_1) + U_2(R_{о.с.}/R_2)] + [U_3(R'_{о.с.}/R'_4) + U_4(R'_{о.с.}/R'_2)]$$

4. Решение системы уравнений.

а) Выберите системы двух уравнений с двумя неизвестными с заранее известным ответом, например, $2X + 3Y = 12$, $3X - 2Y = 6$. Выберите подходящие масштабы для напряжений, имитирующих X и Y в схеме решения системы.

б) Соберите схему для решения системы уравнений, использующую схемы сложения-вычитания. Не забудьте сбалансировать усилители.

в) Сравните измеренные и вычисленные ответы.

Замечание: У каждой схемы сложения-вычитания надо установить нуль при заземленных входах.

Если соединенные для решения системы уравнений схемы сложения-вычитания будут иметь низкие коэффициенты усиления при замкнутой цепи обратной связи, некоторые усилители могут самовозбуждаться. Для прекращения самовозбуждения обычно оказывается достаточным подключить параллельно сопротивлению $R_{о.с.}$ усилителя конденсатор емкостью 0,01 мкФ. Если подключение конденсатора не остановит генерацию, придется менять общий коэффициент усиления усилителей с обратной связью. Это можно сделать, например, подключив сопротивление (10 кОм) между землей и общими (инвертирующим и неинвертирующим) входами.

Контрольные вопросы

1. Что такое сумматор?
2. Какой сумматор называется инвертирующим?
3. Как рассчитывается входное сопротивление для инвертирующего сумматора?
4. Как выглядит схема суммирования с масштабными коэффициентами?
5. Как выглядит схема сложения-вычитания?
6. Что такое неинвертирующий вход?
7. Почему инвертирующий и неинвертирующий входы должны быть сбалансированы?
8. Можно ли суммирующие схемы применять для решения уравнений?
9. В чем отличие инвертора от инвертирующего сумматора?
10. Что такое синфазная ошибка?
11. Что такое система пропорционального регулирования?
12. Какое напряжение характеризует состояние объекта управления?
13. Опишите принцип действия системы пропорционального регулирования.
14. На что указывает напряжение уставки?
15. Что сравнивает суммирующая схема?

Практическое занятие №5 «Интеграторы и дифференциаторы»

Цель работы: научиться строить интегратор и дифференциатор для получения интеграла или производной от заданного сигнала. Используя интегратор и дифференциатор, научиться проверять, что дифференцирование и интегрирование суть взаимно обратные операции. Также научиться включать двойной интегратор в режиме генератора.

Оборудование:

1. Два операционных усилителя μA741 фирмы Fairchild или их аналоги и их заводской паспорт;
2. Набор сопротивлений с точностью 2%;
3. Источник питания ± 15 В постоянного тока;
4. Набор майларовых конденсаторов;
5. Генератор сигналов, способный давать синусоидальные, прямоугольные и треугольные колебания;
6. Двухлучевой осциллограф;
7. Потенциометр на 10 кОм;
8. Макетная панель с гнездами для ИС, такая, как EL Intsruments SK-10.

Порядок выполнения работы

1. Интегратор.

а) Собрать по схеме на рисунке 18 интегратор, дающий выходной сигнал вида $U_{вых} = -2000\int U_1 dt$. Скорректировать этот интегратор таким образом, чтобы нижняя частота интегрирования была равна приблизительно 30 Гц. Установить нуль сдвига.

б) Рассчитать и проверить экспериментально вид выходного сигнала для следующих выходных сигналов: 1) синусоидальная волна частотой 1 кГц и амплитудой 2В; 2) прямоугольная волна частотой 1 кГц и двойной амплитудой 5В.

в) Подобрать R и C так, чтобы интегратор действовал как активный фильтр низких частот с коэффициентом усиления 5 и $f_1 = 500$ Гц. Проверьте работу этого фильтра, измерив коэффициент усиления на низких частотах и частоту среза $f_{ср}$. При проверке используйте синусоидальный входной сигнал.

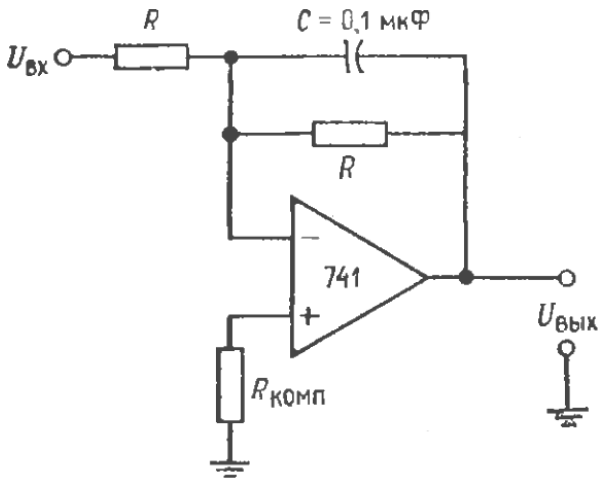


Рисунок 18 – Интегратор

2. Дифференциатор.

а) Соберите схему, как показано на рисунке 19, так, чтобы получить выходное напряжение вида $U_{вых} = -0{,}1 \cdot 10^{-2} (dU_{вх} / dt)$. Скорректируйте этот дифференциатор на максимальную частоту дифференцируемого сигнала 1 кГц.

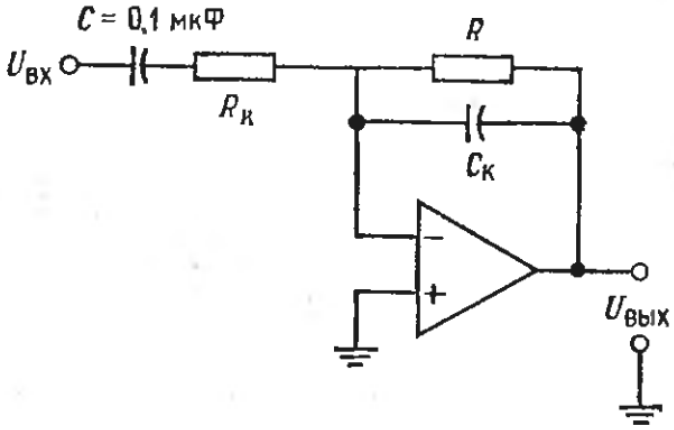


Рисунок 19 – Дифференциатор

б) Рассчитайте вид выходного сигнала, если на вход дифференциатора подаются треугольные колебания частотой 1 кГц и амплитудой 2,5 В. Проверьте результат расчета измерением выходного сигнала.

в) Подобрав надлежащим образом $R_к$ и $C_к$, постройте на основе скорректированного дифференциатора полосовой фильтр с частотной характеристикой, показанной на рисунке 20. Проверьте действие этого фильтра путем измерения выходного сигнала. Используйте при проверке синусоидальный входной сигнал. Результаты представьте в виде графика.

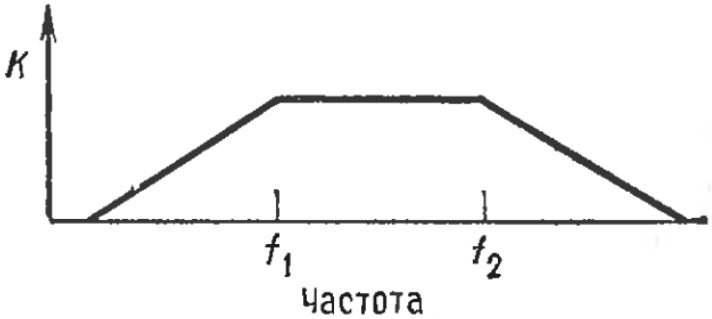


Рисунок 20 – Частотная характеристика полосового фильтра.
$f_1 \approx 320$ Гц, $f_2 \approx 5$ кГц.

3. Взаимно обратные операции.

Поскольку дифференцирование и интегрирование являются взаимно обратимыми операциями, следует ожидать, что, подав на вход интегратора прямоугольные колебания и продифференцировав его выходной сигнал, мы опять получим исходную прямоугольную волну. Соберите схему, показанную на рисунке 21, и подайте на ее вход прямоугольные колебания амплитудой 5В и частотой 1 кГц. Каким окажется сигнал на выходе интегратора? На выходе дифференциатора? Запишите результаты.

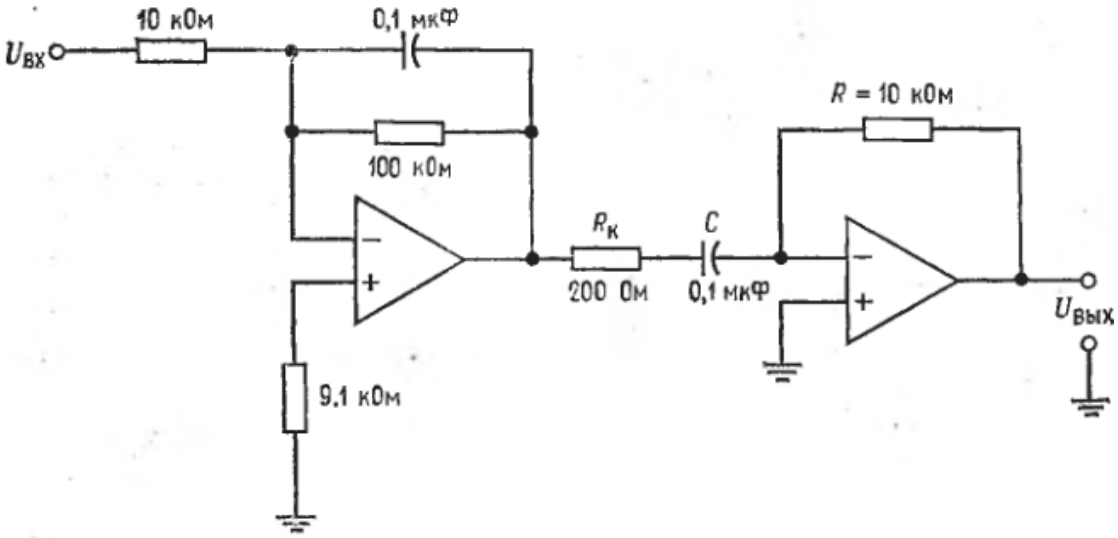


Рисунок 21 – Схема, демонстрирующая взаимную обратимость дифференцирования и интегрирования

4. Генератор на двойном интеграторе.

Соберите двойной интегратор по схеме на рисунке 22 и включите его как генератор. Используйте $R = 10$ кОм и $C = 0{,}1$ мкФ. Вычислите и измерьте частоту колебаний генератора.

Эта схема весьма чувствительна к величине С. Если генерация отсутствует, увеличьте С приблизительно на 20%. (При использовании высокоточных конденсаторов такой проблемы не возникнет).

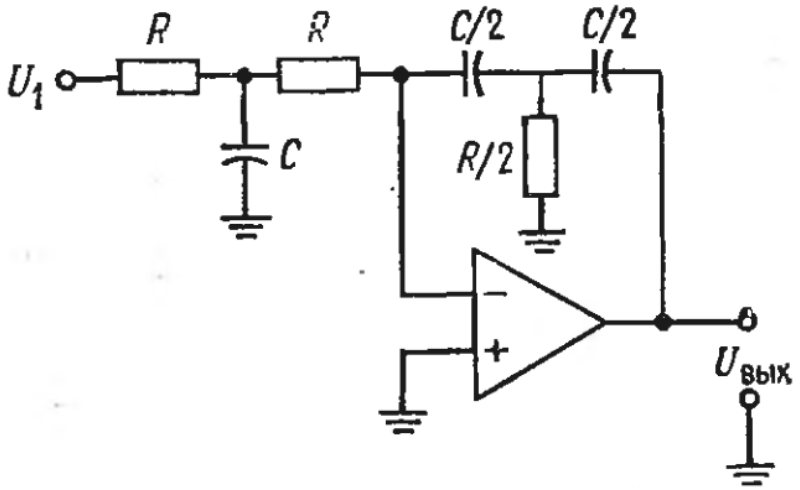


Рисунок 22 – Двойной интегратор.

$$U_{вых} = -\frac{4}{(RC)^2}\iint U_1 dt$$

5. Факультативный раздел.

Этот раздел посвящен решению дифференциального уравнения. Соберите схему для нахождения зависимости тока от времени в цепи на рисунке 24. Используйте $U_{вх} = 1$ В постоянного тока.

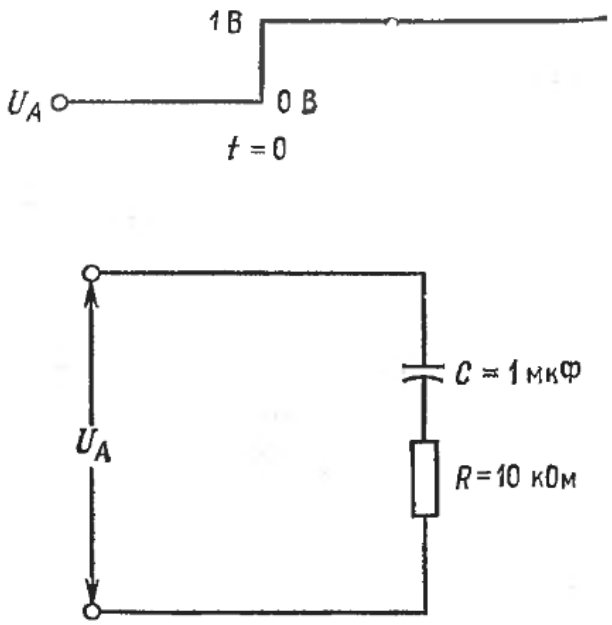


Рисунок 23 – Схема для исследования

Замечание: Устройство для измерения выходного сигнала (осциллограф) следует запускать в момент подачи входного напряжения.

Контрольные вопросы

1. Что такое интегратор?
2. Что такое дифференциатор?
3. В каких случаях используется интегратор?
4. В каких случаях целесообразно использовать дифференциатор?
5. Какие режимы существуют у трёхрежимного интегратора?
6. Что такое схемы ограничения?
7. Для чего используются схемы ограничения?
8. Какой интегратор можно использовать как генератор?
9. В чем особенность интегратора-усилителя?
10. Когда применяется суммирующий интегратор?
11. Какие виды дифференциаторов существуют?
12. Чем реальный интегратор отличается от идеального?
13. В чем заключается коррекция ошибки интегратора в случае медленно меняющегося сигнала?
14. Изобразите частотную характеристику интегратора.
15. Изобразите частотную характеристику нескорректированного дифференциатора.

Практическое занятие №6 «Логарифмические схемы»

Цель работы: научиться рассчитывать компоненты схем логарифмического и антилогарифмического усилителей, простого функционального преобразователя, утройства сжатия сигналов и собрать эти схемы.

Оборудование:

1. Два операционных усилителя μA741 фирмы Fairchild или их аналоги;
2. Набор сопротивлений с точностью 2-ным % разбросом;
3. Источник питания ± 15 В постоянного тока;
4. Генератор звуковых сигналов;
5. Два стабилитрона, $U_{ст} = 2$ В и $U_{ст} = 4$ В;
6. Два n-p-n – транзистора, 2N3710 или аналогичных (лучше использовать подобранные пары, такие, как 2N2461);
7. Два диода 1N914 или аналогичных;
8. Осциллограф;
9. Два потенциометра по 10 кОм, угольные или металлопленочные, но не проволочные;
10. Макетная панель с гнездами для интегральных схем, такая, как EL Intsruments SK-10;
11. Прибор для снятия характеристик транзисторов (желательно, но не обязательно).

Порядок выполнения работы

1. Логарифмический усилитель.

а) Измерьте у одного n-p-n – транзистора величину $I_{ОЭ}$ при небольшом обратном напряжении на переходе эмиттер-база, например, при $U_{БЭ} = 1$ В.

б) Соберите схему, показанную на рисунке 24, выбрав R_1 так, чтобы $I_{R1} = 0{,}1$ мА при $U_1 = 10$ В. (*Замечание:* Сопротивлене 20 МОм, включенное между выходами эмиттера и коллектора транзистора, облегчит проблему смещения нуля, но приведет к появлению некоторой ошибки).Если возникнет самовозбуждение, то включение конденсатора небольшой емкости (0,001 мкФ) между эмиттером и коллектором транзистора должно его прекратить.

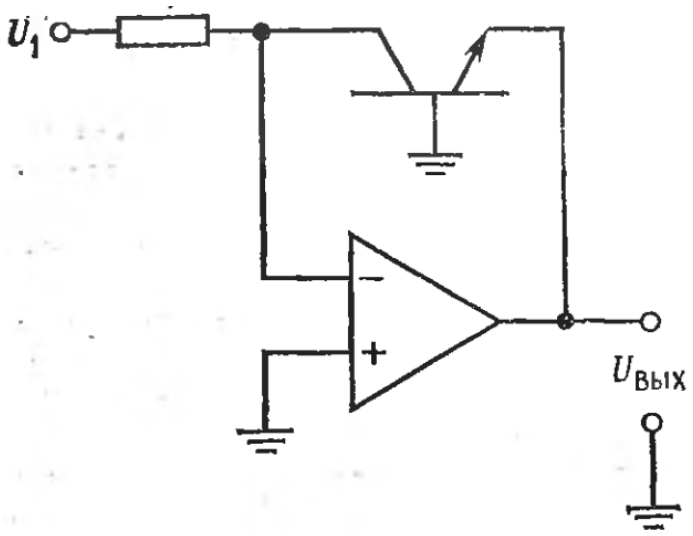


Рисунок 24 – Логарифмический усилитель

в) Рассчитайте и измерьте выходное напряжение при $U_{вх} = +3$ В и $U_{вх} = +6$ В.

г) Не разбирайте схему.

2. Антилогарифмический усилитель.

а) Измерьте $I_{ОЭ}$ второго транзистора. Измеренна величина должна быть близка к аналогичной величине первого транзистора, полученной в пункте 1 практической работы.

б) Соберите схему антилогарифмического усилителя, приведенную на рисунке 25. Утановите такую величину сопротивления $R_{о.с.}$, чтобы $I_{о.с.} = 0{,}1$ мА при $U_{вых} = 10$ В.

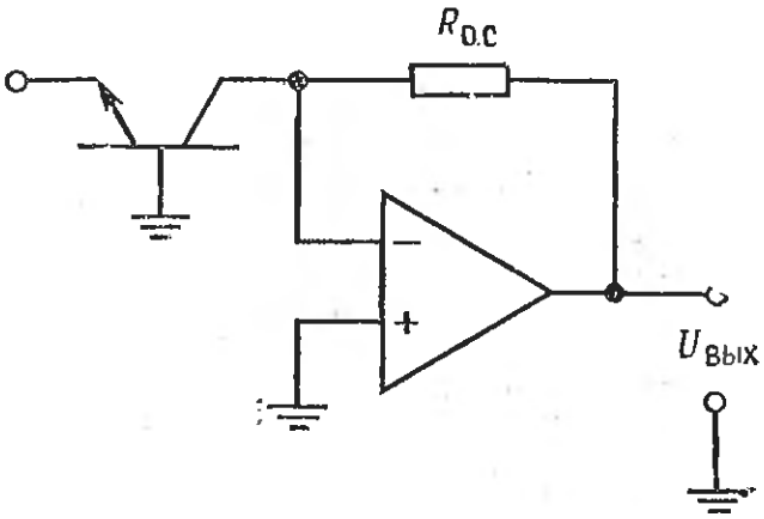


Рисунок 25 –Антилогарифмический усилитель

в) Соедините выход логарифмического усилителя, собранного в пункте 1 практической работы, со входом

антилогарифмического усилителя, равном +3В и +6В. Запишите ваши измерения.

3. Функциональный преобразователь.

а) Соберите схему, показанную на рисунке 26. $U_{ст1} = 2\ В$, $U_{ст2} = 4\ В$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_{о.с.} = 100\ кОм$.

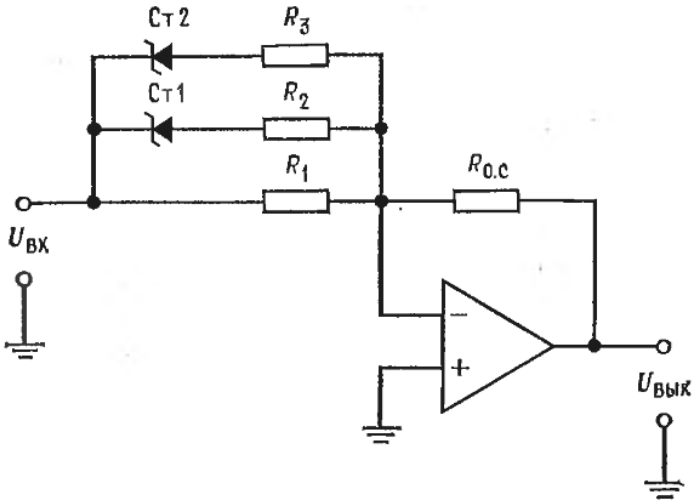


Рисунок 26 – Нелинейный преобразователь

б) Постройте зависимость $U_{вых}$ от $+U_{вх}$ при измерении входного напряжения от $U_{вх} = 0$ до $U_{вх} = +8\ В$. Используя информацию, приведенную на рисунке 27, сравните ваши результаты с расчетными.

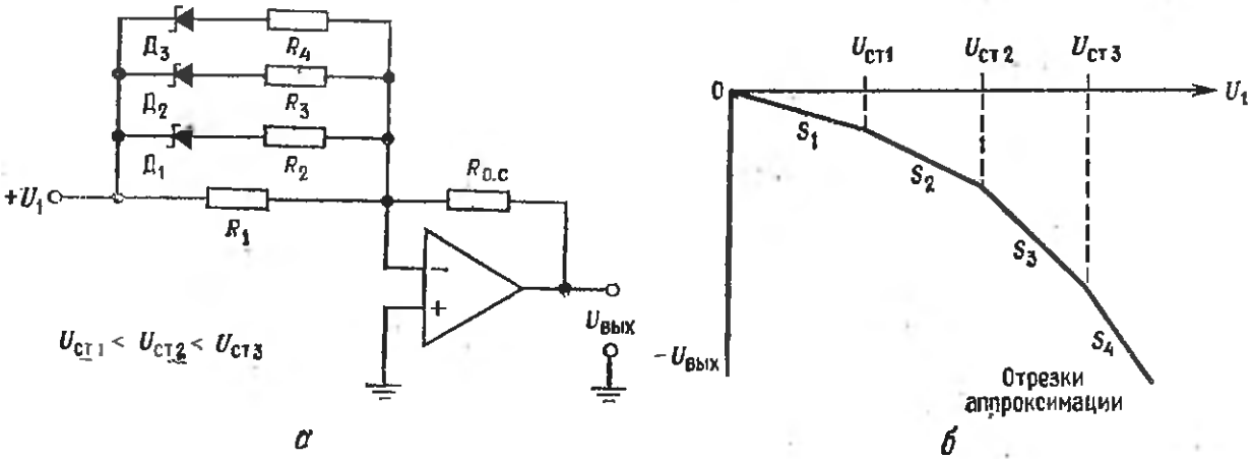


Рисунок 27 – Простой функциональный преобразователь.

а – схема, $U_{ст1} < U_{ст2} < U_{ст3}$; б – зависимость выхода от входа.

$$S_1 = -(R_{о.с.} / R_1),\ S_2 = -(R_{о.с.} / R_1 + R_{о.с.} / R_2),$$

$$S_3 = -(R_{о.с.} / R_1 + R_{о.с.} / R_2 + R_{о.с.} / R_3),$$

$$S_3 = -(R_{о.с.} / R_1 + R_{о.с.} / R_2 + R_{о.с.} / R_3 + R_{о.с.} / R_4)$$

4. Сжатие сигнала.

а) Соберите схему сжатия сигналов, приведенную на рисунке 28. Пусть $R_1 = R_{о.с.} = 100$ кОм, $R_A = 20$ кОм, $R_B = 200$ кОм, а $Д_1$ и $Д_2$ – диоды типа 1N914 или их аналоги.

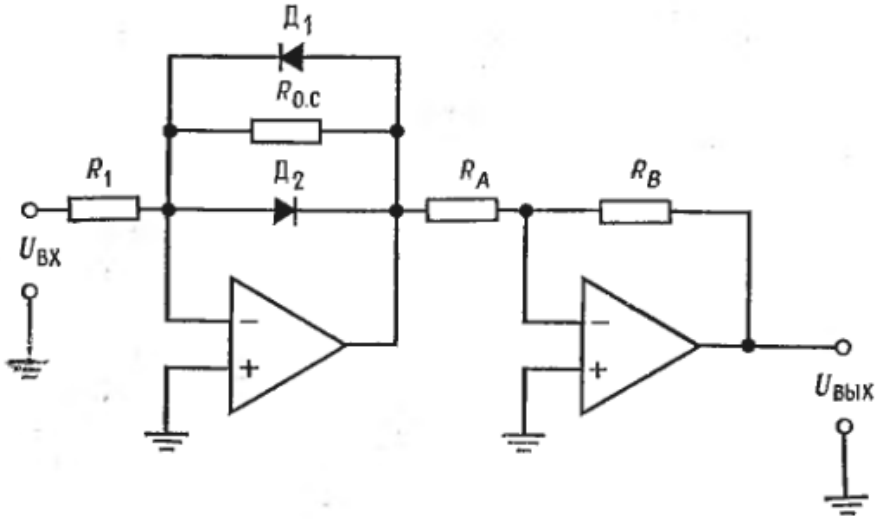


Рисунок 28 – Схема устройства сжатия сигнала

б) Постройте зависимость $U_{вых}$ от $U_{вх}$.

в) Пронаблюдайте сжатие сигнала при синусоидальном или любом другом периодическом входном сигнале. Пронаблюдайте, как изменится коэффициент усиления при измерении величины вхлдного сигнала $U_{вх}$.

Проанализируйте причины появления отклонениц в ваших измерениях от расчетных величин для каждой части практического занятия.

Контрольные вопросы

1. Что такое логарифмическая схема?
2. Что такое антилогарифмическая схема?
3. Когда используются эти схемы?
4. Что необходимо сделать для получения логарифмической характеристики усилителя?
5. Какое устройство обладает логарифмической характеристикой?
6. Как выглядит логарифмический усилитель?
7. Что можно использовать в логарифмическом усилителе в качестве нелинейного элемента?

8. Как получить антилогарифмическую характеристику?
9. Что такое схема умножения?
10. Что такое коэффициент эмиттерного тока?
11. Как выглядит схема деления?
12. Что такое схема получения логарифмического отношения?
13. Что такое функциональные преобразователи?
14. Какие бывают преобразователи?
15. Расскажите о компрессии сигнала.

Практическое заняти №7 «Активные фильтры»

Цель работы: научиться рассчитывать величины компонентов, собирать и проверять частотные характеристики схем активных фильтров Саллена и Кея с параллельной обратной связью, универсальных и биквадратных.

Оборудование:

1. Пять операционных усилителей μA741 фирмы Fairchild или им аналогичных;
2. Набор сопротивлений, имеющих точность 2%;
3. Источник питания ±15 В постоянного тока;
4. Осциллограф с внешним входом горизонтальной развертки;
5. Генератор качающейся звуковой частоты (при отсутствии генератора качающейся частоты можно использовать звуковой сигнал-генератор);
6. Набор конденсаторов на металлизированном майларе, желательно с точностью ±5%;
7. Макетная панель, такая, как EL Intsruments SK-10.

Порядок выполнения работы

1. Монтаж измерительной аппаратуры. Осциллограф и генератор качающейся частоты нужно соединить таким образом, чтобы график частотной характеристики исследуемого активного фильтра был виден непосредственно на экране осциллографа. Схема такого соединения показана на рисунке 29. Напряжение на выходе «Аналог частоты» генератора качающейся частоты пропорционально частоте и линейно зависит от времени; оно используется для управления усилителем горизонтальной развертки осциллографа. При этом горизонтальная развертка изображает частоту, а амплитудная сигнал на экране осциллографа соответствует амплитуде на выходе фильтра. Полученное таким образом изображение частотной характеристики фильтра показано на рисунке 30. Горизонтальный масштаб этого изображения задается посредством изменения коэффициента усиления усилителя горизонтальной развертки осциллографа и должен быть выбран так, чтобы размер изображения соответствовал ширине экрана.

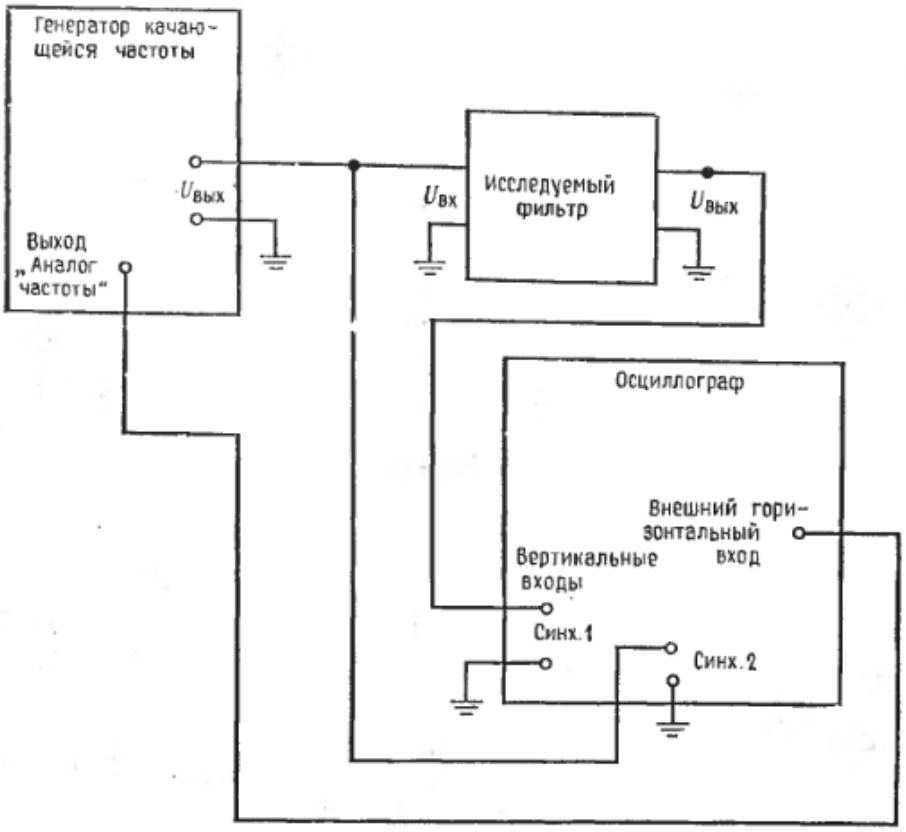


Рисунок 29 – Включение осциллографа для получения частотной характеристики

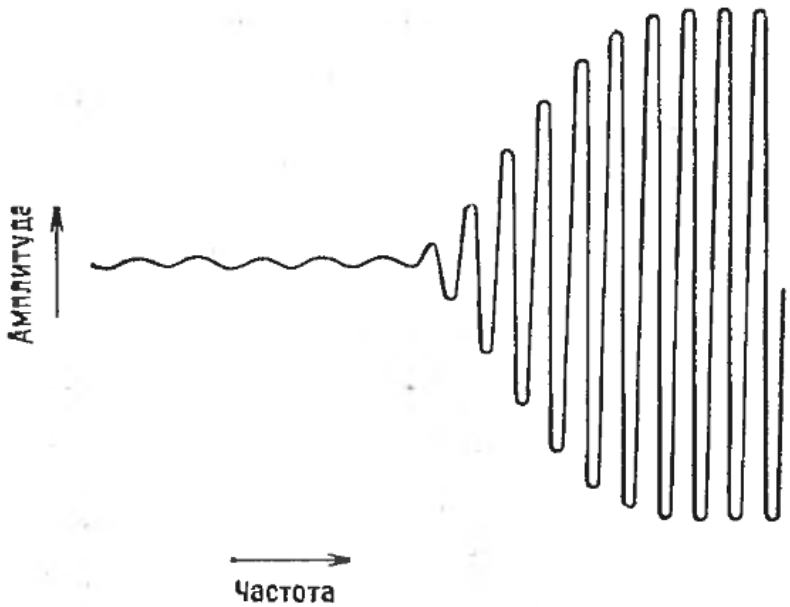


Рисунок 30 – Изображение частотной характеристики фильтра верхних частот на экране осциллографа; включение аппаратуры соответствует рисунку 30

Замечание: Если генератор качающейся частоты не имеет гашения обратного хода, то во время обратного хода на экране

будет появляться более слабое дополнительное изображение. Ослабление этого эффекта (но не полного его исключения) можно добиться за счет уменьшения скорости изменения частоты. Отметим, что чрезмерная скорость изменения частоты вызывает неустойчивость изображения даже при наличии гашения обратного хода.

Для проведения точных измерений $f_{3\,дБ}$, f_1, f_2 и коэффициента усиления лучше всего использовать обычный режим работы осциллографа и менять частоту вручную.

Включите измерительную аппаратуру, как показано на рисунке 29. Настройте амплитуду горизонтальной развертки осциллографа таким образом, чтобы размах напряжений на выходе «Аналог частоты» генератора качающейся частоты соответствовал все ширине экрана.

2. Фильтр Саллена и Кея.

а) Рассчитайте схему Саллена и Кея, реализующую фильтр нижних частот Баттерворта второго порядка. Установите $f_{3\,дБ} = 1\,кГц$. Схема этого фильтра показана на рисунке 31. Значение α найдите по таблице 1.

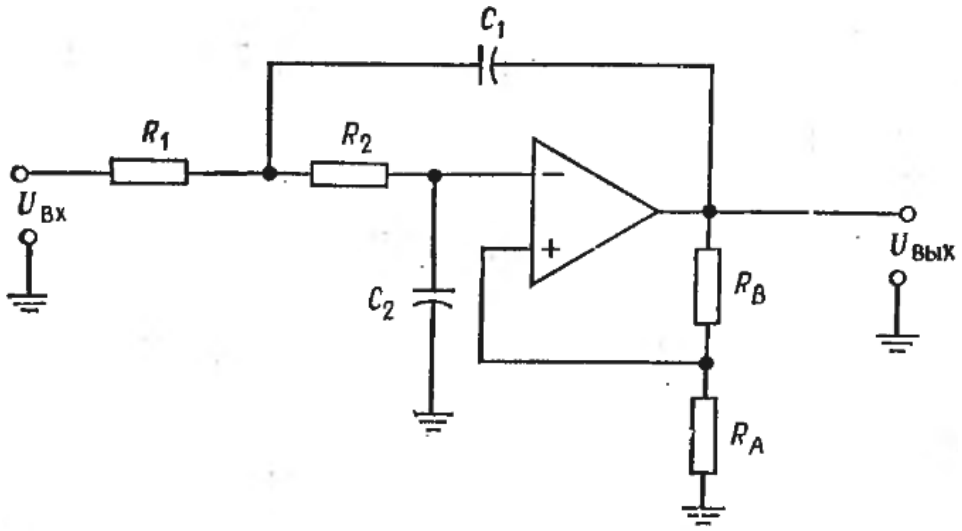


Рисунок 31 – Фильтр нижних частот Саллена и Кея. $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$, $f_{ср} = 1/2\pi RC$, $R_B = (2-\alpha)\cdot R_A$, $K_П = R_B / R_A + 1$

б) Соберите эту схему на макетной панели.

в) Проверьте $f_{3\,дБ}$, изменение ослабления на переходном участке между частотами 300 и 600 Гц (оно должно быть равным 12 дБ) и коэффициент усиления в полосе пропускания. Сравните

результаты измерений с результатами расчета. При использовании сопротивлений с точностью $\pm 2\%$ и конденсаторов с точностью $\pm 5\%$ различие не должно превышать 10%.

Таблица 1 – Коэффициенты затухания и отношения $f_{3\,дБ}/f_{ср}$ для фильтров второго порядка

Тип фильтра	α	Отношение $f_{3\,дБ}/f_{ср}$
Баттерворта	1,414	1,00
Бесселя	1,732	0,785
Чебышева		
неравномерность 0,5 дБ	1,578	1,390
неравномерность 1 дБ	1,059	1,218
неравномерность 2 дБ	0,886	1,074
неравномерность 3 дБ	0,766	1,000

3. Фильтр с параллельной обратной связью.

а) Рассчитайте фильтр с параллельной обратной связью (его схема оказана на рисунке 32), имеющий $f_1 = 900$ Гц и $f_2 = 1100$ Гц. Положите $К_П = 6$.

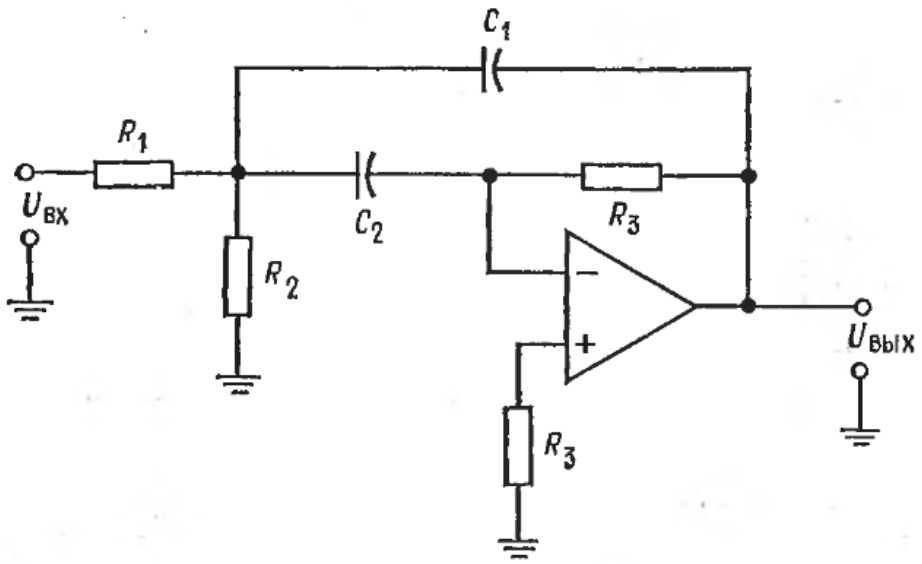


Рисунок 32 – Фильтр с параллельной обратной связью. $f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$, $Q = f_0/(f_2 - f_1)$, $R_1 = Q/2\pi f_0 C K_П$, $R_2 = Q/2\pi f_0 C \cdot (2Q^2 - K_П)$, $R_3 = 2Q/2\pi f_0 C$, $C_1 = C_2$, $К_П = R_3/2R_1$

б) Соберите эту схему на макетной модели.

в) Проверьте измерением $f_Э$, f_1, f_2, Q и $К_П$.

4. Универсальный фильтр с единичным коэффициентом усиления.

а) Рассчитайте схему универсального фильтра с единичным коэффициентом усиления, реализующую фильтр верхних частот второго порядка, имеющий характеристику Чебышева с неравномерностью 2 дБ. Эта схема показана на рисунке 33. Напомним, что величины отношения $f_{3\,дБ}/f_{ср}$ и коэффициента α надо искать в таблице 1.

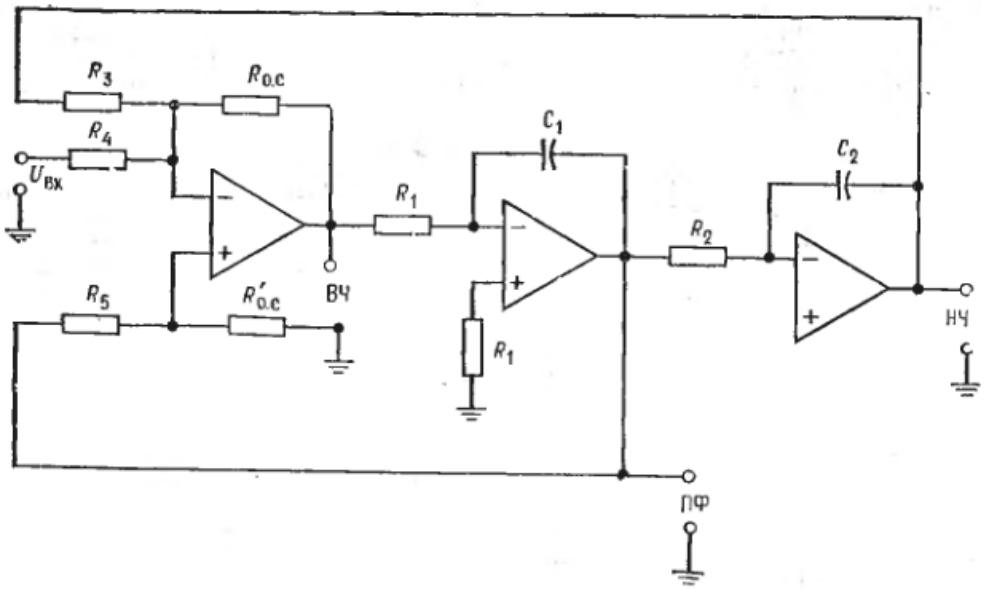


Рисунок 33 – Универсальный фильтр с единичным коэффициентом усиления. $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_{о.с.} = R'_{о.с.} = R$. $C_1 = C_2 = C$, $f_{ср} = 1/2\pi RC$, $R_5 = R'_{о.с.}(3/\alpha - 1) = R'_{о.с.}(3Q - 1)$

б) Соберите эту схему.

в) Проверьте величину $f_{3\,дБ}$, неравномерность (амплитуду зубцов) характеристики в децибелах и величину $К_П$ на вершинах зубцов.

5. Универсальный фильтр с изменяемым коэффициентом усиления.

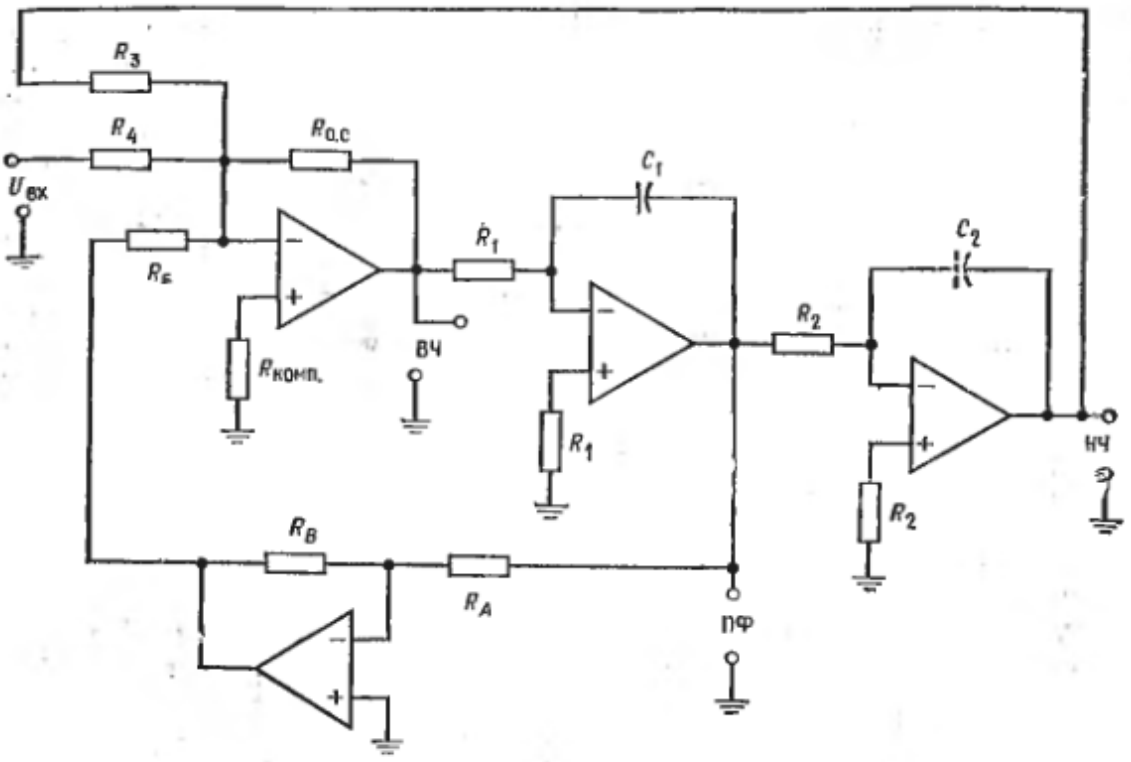
а) Рассчитайте схему универсального фильтра с изменяемым коэффициентом усиления, реализующую полосовой фильтр пропускания с $f_1 = 900$ Гц, $f_2 = 920$ Гц и $К_П = 20$ (рисунок 34,а).

б) Соберите эту схему.

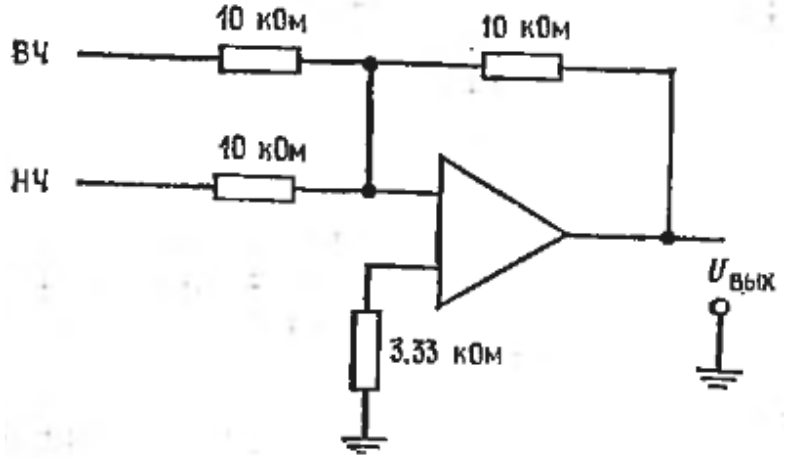
в) Проверьте значения f_0, f_1, f_2, Q и $К_П$.

г) Соберите показанную на рисунке 34,б схему сумматора и соедините ее с выходами фильтров верхних и нижних частот.

д) Проверьте значения f_0, f_1, f_2, Q и $1/К_П$ характеристики фильтра-пробки.



а



б

Рисунок 34 – Схема универсального фильтра с изменяемым коэффициентом усиления, реализующего полосовой фильтр.
а – схема фильтра. $f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$, $Q = f_0/(f_2 - f_1)$, $g = К_П / Q$,
$C_1 = C_2 = C$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = R_{о.с.} = R_A = R$, $f_0 = 1/2\pi RC$.
б – схема сумматора для получения фильтра-пробки

6. Биквадратный фильтр.

а) Рассчитайте схему биквадратного полосового фильтра с $f_1 = 800$ Гц, $f_2 = 820$ Гц и $К_П = 10$ (рисунок 35).

б) Соберите эту схему.

в) Проверьте f_0, f_1, f_2, Q и $К_П$.

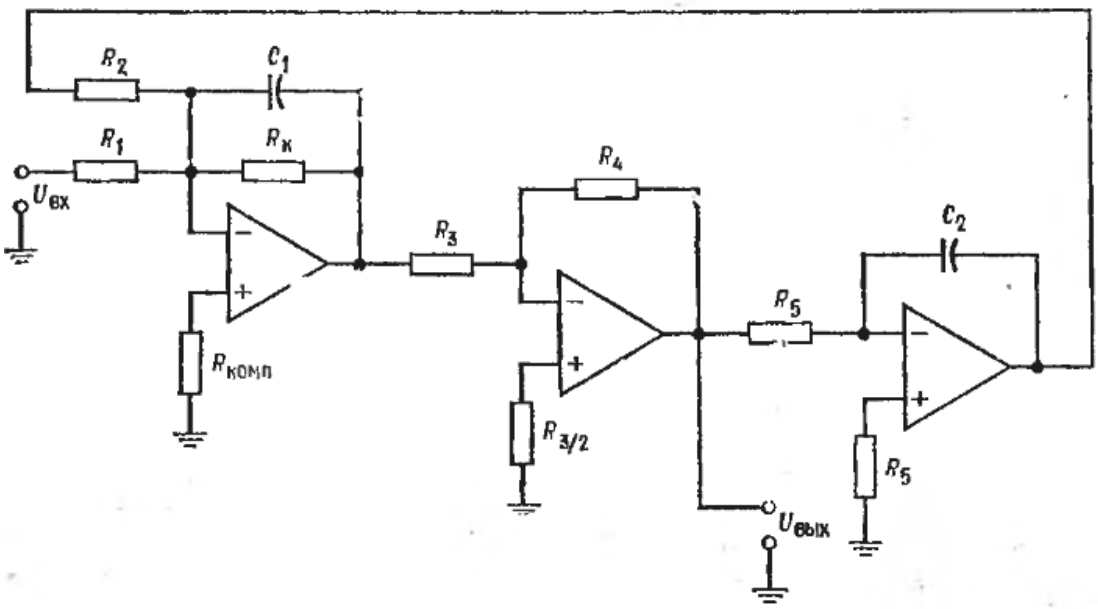


Рисунок 35 – Биквадратный полосовой фильтр.

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2},\ Q = f_0/(f_2 - f_1),\ g = Q/K,\ C_1 = C_2 = C,$$
$$R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R,\ R = 1/2\pi f_0 C,\ R_1 = g/2\pi f_0 C,$$
$$R_K = Q/2\pi f_0 C$$

Контрольные вопросы

1. Из чего построены активные фильтры?
2. Для чего используются активные фильтры?
3. Какая характеристика отличает активные фильтры?
4. Где применяются активные фильтры?
5. Какие существуют свойства у фильтра Бесселя?
6. Какие вы знаете свойства фильтра Беттерворта?
7. В чем заключается особенность фильтра Чебышева?
8. Перечислите достоинства активных фильтров.
9. Перечислите недостатки активных фильтров.
10. Что такое многокаскадные фильтры?
11. Какой фильтр называется пассивным?
12. Что такое «фильтр нижних частот»?

13. Что такое «режекторный полосовой фильтр»?
14. Что такое «порядок фильтра»?
15. Что такое «добротность»?

Практическое занятие №8 «Шумы»

Цель работы: научиться измерять коэффициент шума ОУ.

Оборудование:

1. Два ОУ μA741 фирмы Fairchild или их аналоги;
2. Набор резисторов с точностью ±2%;
3. Источник питания +15В;
4. Генератор звуковых частот;
5. Потенциометр 10 кОм;
6. Осциллограф двухлучевой (с чередующимся переключением входных каналов);
7. Макетная плата, например типа EL Instruments SK-10.

Порядок выполнения работы

Известны несколько способов измерения коэффициента шума усилительной схемы. Многие методы предполагают использование калиброванного источника шума в качестве входного сигнала, причем входной сигнал должен содержать все частоты в полосе пропускания усилителя. Так как шум сам по себе широкополосен, генератор шума удовлетворяет этому требованию.

Напряжение шума обычно измеряется с помощью дорогостоящего вольтметра, измеряющего истинное эффективное (среднеквадратичное) значение с исключительно высокой точностью. Для получения средней точности результатов измерения будет использован осциллограф и так называемый метод касания. Этот метод позволяет измерить шум с точностью примерно 1 дБ. Непосредственное считывание шумов с осциллограммы не точно, так как случайные пики значительно выше, чем их видимое изображение на экране осциллографа.

Метод касания (рисунок 36) заключается в следующем:

1. Подсоедините оба входа двухканального осциллографа к источнику напряжения шума, подлежащего измерению. Следует использовать щуп 1:1. Включите осциллограф в режиме переключения каналов. Оба канала должны быть установлены в одном диапазоне измерения напряжения и одинаково калиброваны. Если необходим и имеется в распоряжении усилитель отклонения по вертикали, то используйте его для этой цели.

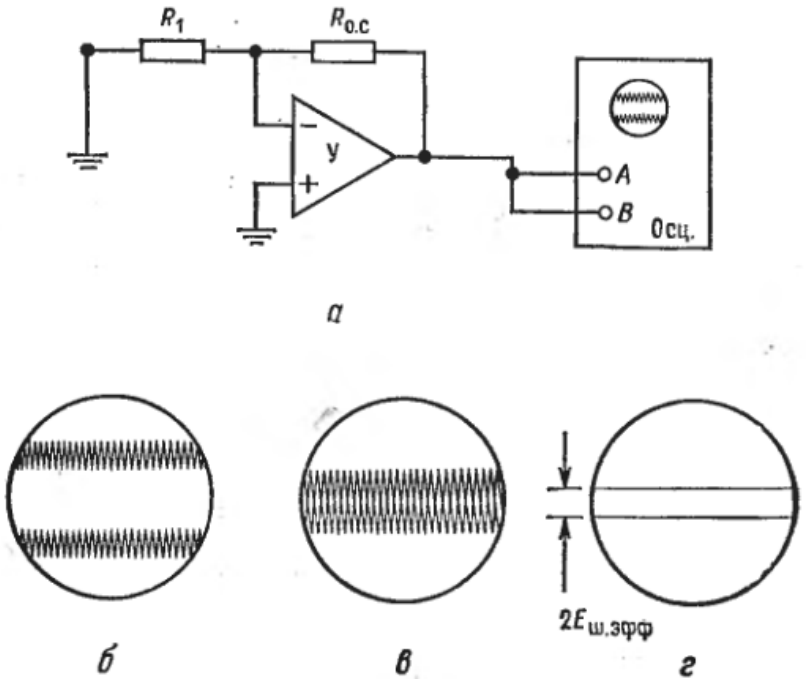


Рисунок 36 – Метод касания при измерении напряжения шума. а – подсоединение осциллографа. У – испытуемый усилитель, Осц. – двухлучевой осциллограф (с переключателем каналов); б – осциллограмма с шумом; в – осциллограмма, смещенная до касания напряжения шумов; г – осциллограмма при заземленных входах.

2. Установите, как это показано на рисунке 36,в, картинки напряжения шума так, чтобы они касались друг друга и между ними не было чистой поверхности экрана.

3. Заземлите щупы осциллоскопа, чтобы увидеть развертки без шума. Расстояние между двумя развертками будет равно удвоенному значению эффективного напряжения шума. Например, если развертки раздвинуты на 1,6 деления и осциллограф калиброван так, что на одно деление приходится 20 мВ, то эффективное напряжение шума будет:

$$E_{ш.\ эфф} = [1{,}6(20\ мВ/дел.)]/2 = 16\ мВ.$$

Многие методы измерения коэффициента шума основаны на использовании калиброванного источника шума. Он дает шумовой сигнал с частотным спектром, заведомо перекрывающим ширину полосы пропускания усилителя. Будем использовать генератор сигналов с частотами в пределах полосы пропускания усилителя.

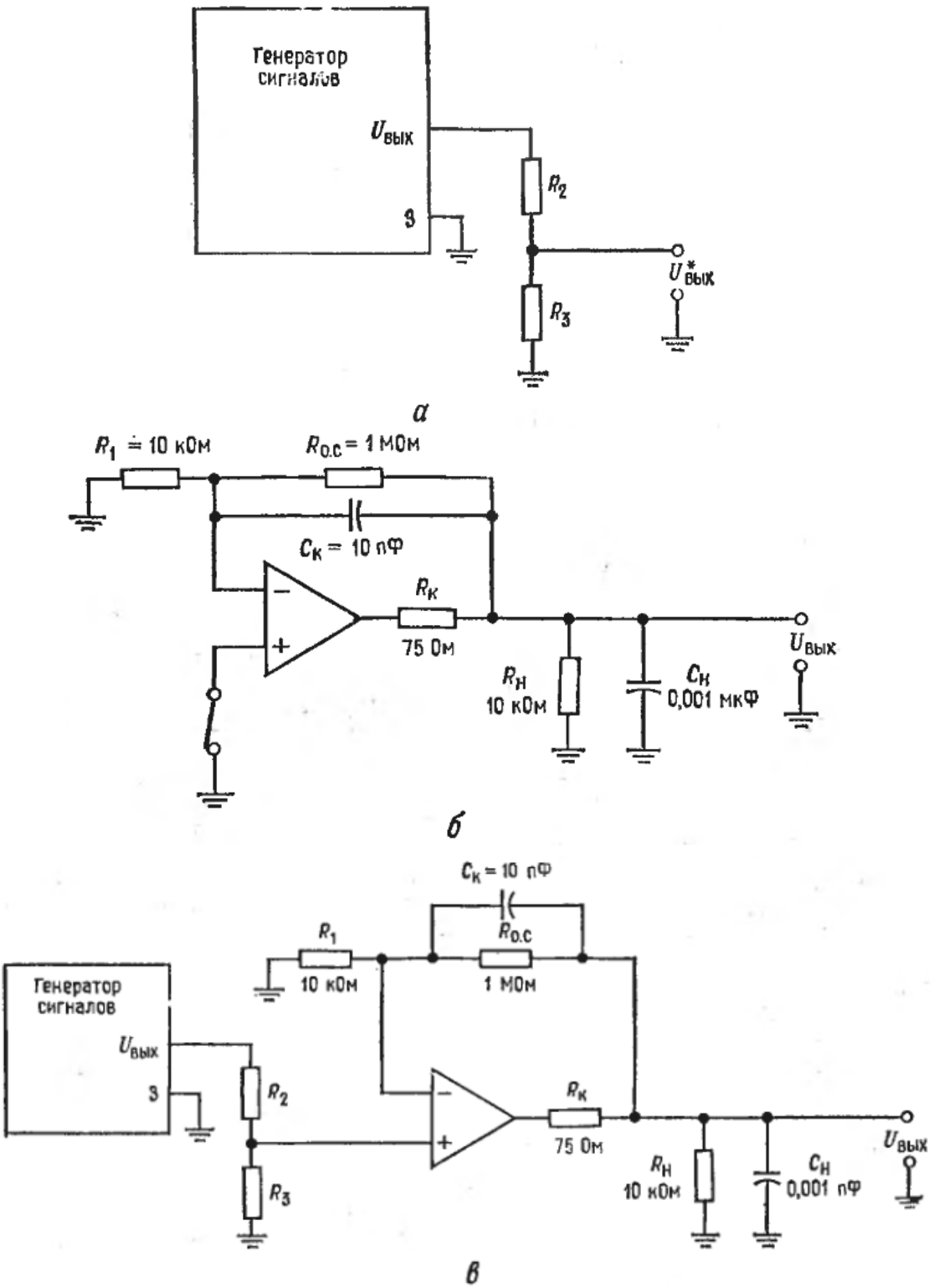


Рисунок 37 – Измерение коэффициента шума.
а – генератор сигналов, З – земляной вывод, $U^*_{вых}$ – выходное напряжение, подводимое к исследуемой схеме; б – схема включения усилителя (для пункта 2 (а,б)); $C_н$ – слюдяной конденсатор; в – схема включения (для пункта 2(в))

1. Отношение сигнал/шум на входе:

а) Подключите генератор сигнала, как показано на рисунке 37,а.

б) Измерьте напряжение шума при выходном напряжении генератора сигнала, равном нулю, если осциллограф достаточно чувствителен,

в) Если удастся измерить напряжение шума при условиях пункта (б), то переходите к дальнейшему, если нет, то вычислите тепловые шумы, порождаемые внутренним сопротивлением генератора сигналов, по формуле:

$$E_{ш.\,ист.} = \sqrt{2kT\Delta f R_{ист}},$$

где k – постоянная Больцмана ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К); T – абсолютное значение комнатной температуры (около 300 К); $R_{ист} = R_2 \parallel R_3$; Δf – полоса пропускания ОУ, умноженная на 1,57.

С помощью $R_н$ и $C_н$ полоса пропускания устанавливается равной 15 кГц, так что $\Delta f = 23{,}55$ кГц.

г) Установите выходное напряжение генератора $U_{ген} = 1$ мВ (эфф.) (2,8 мВ от пика к пику) на частоте около 5 кГц. Если это напряжение измерить трудно, то установите напряжение на выходе делителя напряжения R_2 и R_3 равным 28 мВ от пика к пику.

д) Вычислите отношение сигнал/шум на выходе:

$$S_{вх} / Ш_{вх} = (U^2_{ген} / R_{ист}) / (E^2_{ш.\,ист.} / R_{ист}).$$

2. Отношение сигнал/шум на выходе.

а) Заземлите вход ОУ, как показано на рисунке 37,б.

б) Измерьте напряжение шума на выходе.

в) Подсоедините генератор ко входу ОУ и измерьте выходной сигнал $U_{вых}$. Перечислите значение выходного сигнала, измеренное от пика к пику, в эффективное значение: $U_{вых.\,пп.} \cdot 0{,}3535 = U_{вых.\,эфф.}$.

г) Вычислите отношение сигнал/шум на выходе:

$$S_{вых} / Ш_{вых} = [U^2_{вых.\,эфф} / R_и \parallel (R_1 + R_{о.с.})] / [E^2_{ш.\,вых} / R_н \parallel (R_1 + R_{о.сс})]$$

д) Вычислите шум-фактор:

$$К_{Ш} = 10\lg[(S_{вх} / Ш_{вх}) / [(S_{вых} / Ш_{вых})].$$

Полученное значение в норме должно лежать между 7 и 15 дБ.

Контрольные вопросы

1. Что такое шум широком смысле слова?
2. Что такое шум Джонсона?
3. Как определить шум Джонсона?
4. Что такое шум Шоттки?
5. Как определить шум Шоттки?
6. Что такое фликкер-шум?
7. Как можно определить фликкер-шум?
8. Укажите три основных принципа экранирования.
9. Сформулируйте основной принцип организации надлежащего заземления.
10. Что представляет собой отношение сигнал/шум?
11. Как определяют шум-фактор?
12. Что показывает коэффициент шума?
13. Что представляют собой наводки?
14. Какие три мероприятия могут быть использованы для минимизации наводок?
15. Какие мероприятия могут быть использованы для минимизации шума?

Список литературы

1. Кореневский, Н.А. Узлы и элементы биотехнических систем: учебник / Н.А. Кореневский, Е.П. Попечителев. - Старый Оскол : ТНТ, 2014. - 448 с.
2. Филист, С.А. Проектирование измерительных преобразователей для систем медико-экологического мониторинга: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Биотехнические системы и технологии" / С.А. Филист, О.В. Шаталова. - Старый Оскол : ТНТ, 2014. - 407 с.
3. Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС: [пер. с англ.] / Л. Фолкенберри. – М.: Мир, 1985. – 572 с.