

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Е. Б. ШЕРШНЕВ

ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Практическое пособие

для студентов специальностей
1-39 03 02 «Программируемые мобильные системы»
и 6-05-0611-05 «Компьютерная инженерия»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2025

УДК 621.38(076)
ББК 32.84я73
Ш507

Рецензенты:

доктор физико-математических наук П. А. Хило,
кандидат физико-математических наук О. М. Дерюжкова

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Шершнеv, Е. Б.

Ш507 Основы радиоэлектроники : практическое пособие /
Е. Б. Шершнеv ; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. –
Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – 39 с.
ISBN 978-985-32-0092-8

Целью настоящего практического пособия является оказание помощи студентам при выполнении лабораторных работ по курсу «Основы радиоэлектроники». Издание содержит методику проведения лабораторных работ, а также вопросы для самоконтроля.

Адресовано студентам специальностей 1-39 03 02 «Программируемые мобильные системы» и 6-05-0611-05 «Компьютерная инженерия».

УДК 621.38(076)
ББК 32.84я73

ISBN 978-985-32-0092-8

© Шершнеv Е. Б., 2025
© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Устройство лабораторного стенда.....	6
Лабораторная работа 1. Исследование и измерение параметров простого транзисторного усилительного каскада.....	9
Задание 1. Измерение параметров простого транзисторного усилительного каскада (в режиме А) (схема ОЭ).....	9
Задание 2. Измерение параметров транзисторного усилительного каскада с коллекторной стабилизацией режима.....	10
Задание 3. Измерение параметров транзисторного усилительного каскада с резистором в цепи эмиттера (схема ОЭ).....	11
Задание 4. Измерение параметров эмиттерного повторителя (схема ОК).....	13
Лабораторная работа 2. Операционные усилители.....	15
Задание 1. Инвертирующий масштабный усилитель.....	15
Задание 2. Неинвертирующий масштабный усилитель.....	15
Задание 3. Инвертирующий сумматор на операционном усилителе. Повторитель напряжения.....	16
Задание 4. Разностный усилитель на операционном усилителе..	17
Лабораторная работа 3. Переходные процессы в RC-четырёхполюсниках.....	19
Задание 1. Измерение основных параметров четырёхполюсников.	19
Задание 2. Исследование цепи дифференцирующего типа при гармоническом воздействии.....	21
Задание 3. Исследование цепи дифференцирующего типа при гармоническом воздействии, расчёт критической частоты.....	22
Задание 4. Исследование цепи дифференцирующего типа при импульсном воздействии.....	23
Задание 5. Исследование цепи интегрирующего типа при гармоническом воздействии.....	23
Задание 6. Исследование цепи интегрирующего типа при гармоническом воздействии, расчёт критической частоты.....	25
Задание 7. Исследование цепи интегрирующего типа при импульсном воздействии.....	26
Задание 8. Исследование резонанса цепи в последовательном колебательном контуре.....	26
Задание 9. Исследование резонанса цепи в параллельном колебательном контуре.....	27

Лабораторная работа 4. Генераторы гармонических колебаний.	29
Задание 1. Генератор синусоидального сигнала на операционном усилителе.....	29
Задание 2. Релаксационный генератор на операционном усилителе.	29
Задание 3. Генератор импульсов с регулировкой скважности....	30
Лабораторная работа 5. Детектор амплитудно-детектированного сигнала.....	32
Задание 1. Генератор синусоидального сигнала на операционном усилителе.....	32
Лабораторная работа 6. Сетевые устройства электропитания....	34
Задание 1. Однополупериодный выпрямитель.....	34
Задание 2. Изучение параметров параллельного стабилизатора напряжения.....	35
Лабораторная работа 7. ЦАП на взвешенных резисторах структурах R-2R.....	37
Задание 1. ЦАП на взвешенных резисторах и структурах R-2R..	37
Литература.....	39

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Основы радиоэлектроники» является одним из основных для студентов факультета физики и информационных технологий.

Одним из важнейших видов учебных занятий в системе вузовской подготовки являются лабораторные работы.

Задача практического пособия по курсу «Основы радиоэлектроники» состоит в формировании теоретических знаний и практических навыков, который обеспечит возможности понимания и анализа процессов, происходящих в различных радиоэлектронных цепях, входящих в состав электронных устройств. При этом эффективность усвоения теоретического материала возрастает при последовательном выполнении лабораторных работ в порядке их усложнения, при соответствии сущности лабораторных упражнений содержанию теоретического курса, при наличии синхронизации в изучении вопросов на лекциях и в лаборатории.

Практическое пособие по основам радиоэлектроники должно удовлетворять современным требованиям, предъявляемым дидактикой к процессу обучения:

- научная достоверность, необходимая точность и современная трактовка изучаемых и исследуемых объектов, процессов и явлений;
- доступность, систематичность и последовательность;
- построение и исследование схем и моделей исследуемого электронного устройства и физических процессов, протекающих в нём;
- развитие интереса и творческого подхода к изучаемому или исследуемому вопросу;
- развитие необходимых навыков к самостоятельному проведению эксперимента.

Перечисленные задачи решаются при фронтальном способе проведения лабораторных работ, включающие в себя проведение лабораторных работ с использованием аппаратно-технических средств (вольтметры, осциллографы, специальные лабораторные стенды и т. п.).

УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Структура лабораторного стенда представлена в виде установленных пассивных элементов, индикаторных светодиодов, панелек для установки транзисторов и микросхем, коммутационных полей и соединительных проводов, с помощью которых можно собрать любую из предлагаемых для исследования схем. Номиналы пассивных элементов стенда подобраны таким образом, чтобы при работе с любой схемой получить оптимальные результаты как измерений, так и осциллограмм, а также обеспечить максимально долгую работу стенда при возможных ошибках студентов в процессе выполнения лабораторной работы.

Выводы каждого элемента выведены на два гнезда стандартных разъемов, как показано на рисунке 1.

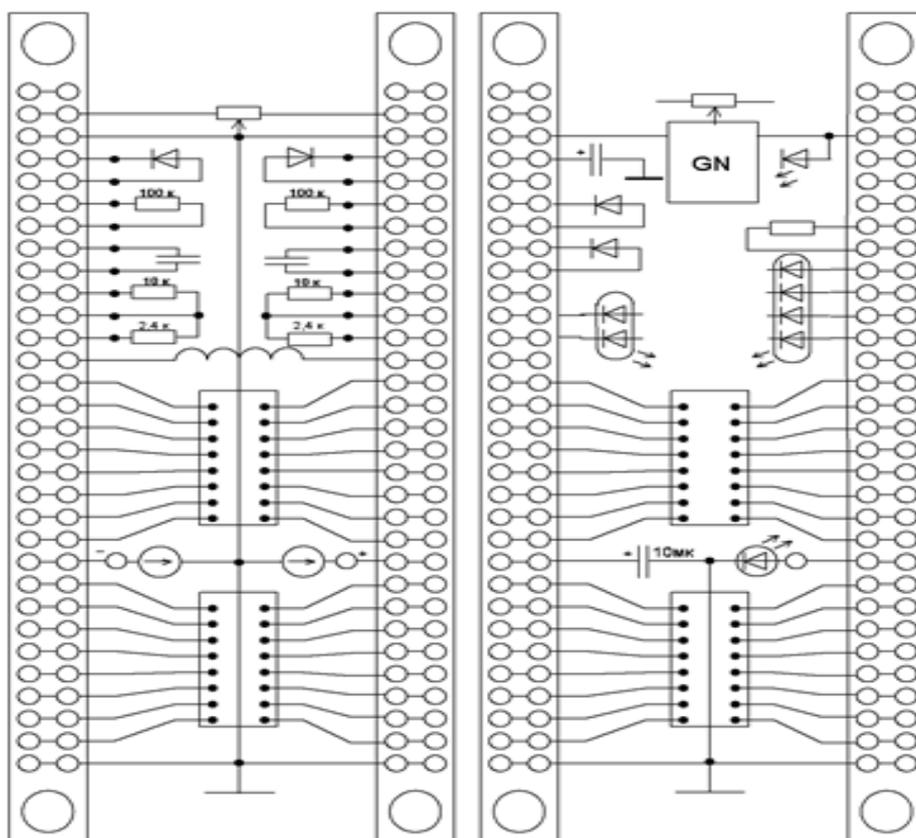
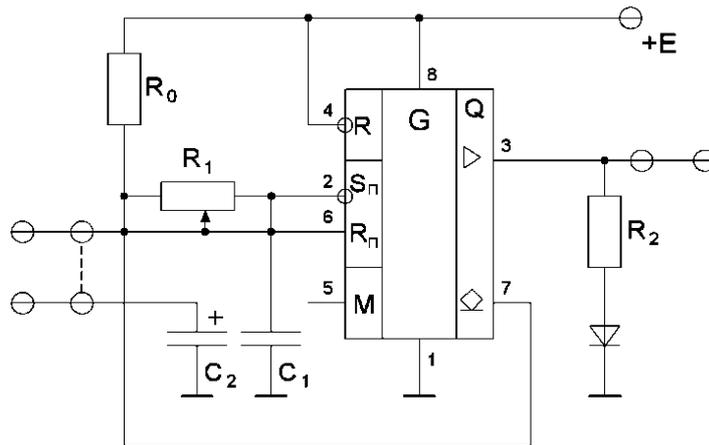


Рисунок 1 – Внешний вид лабораторного стенда

Генератор тактовых импульсов выполнен на базе прецизионного таймера КІ006ВІ1 (иностраннй аналог NE555N) по схеме, обеспечивающей постоянство заданной частоты при изменениях напряжения питания в пределах 4–12 В. Базовая схема генератора приведена на рисунке 2.



$$R_0 = 680 \text{ Ом}, R_1 = 47 \text{ кОм}, R_2 = 16 \text{ кОм}, C_1 = 470 \text{ пФ}$$

Рисунок 2 – Схема генератора тактовых импульсов

При указанных номиналах элементов частоту генератора можно изменять резистором R_1 в необходимых пределах, при этом скважность сигнала $Q \approx 2$.

При подключении параллельно конденсатору C_1 внешнего конденсатора C_2 большой емкости (47 мкФ), частота генератора уменьшается и контролируется светодиодным индикатором, подключенным к выходу генератора.

Данная схема генератора обладает высокой стабильностью временных параметров при изменении напряжения питания в пределах от 3 до 15 В.

В качестве индикаторов логической «1» использованы светодиоды повышенной яркости желтого цвета свечения с токоограничивающими резисторами (рисунок 3).

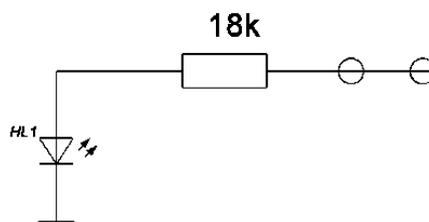


Рисунок 3 – Схема индикатора логической «1» (всего – 4)

В качестве индикаторов логической «0» использованы светодиоды повышенной яркости зеленого цвета свечения с токоограничивающими резисторами (рисунок 4).

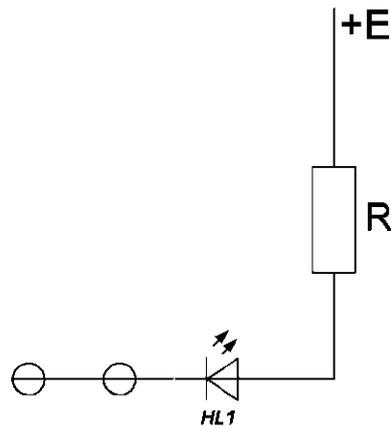


Рисунок 4 – Схема индикатора логического «0» (всего – 2)

При разработке практического пособия определена доступная и надежная сменная элементная база. В качестве сменной элементной микросхемной базы используются микросхемы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) серий К155, К531 и ТТЛШ серии К1533.

Для установки микросхем используются специализированные панельки, выводы от которых выведены на коммутационные разъемы.

Сборка схем осуществляется с помощью проводов с соответствующими наконечниками, подходящими по конструктивным размерам к гнездам разъемов. Напряжение питания стенда подается от внешнего лабораторного источника и контролируется с помощью светодиодных индикаторов разного цвета – –Е – зеленый, +Е – красный.

Такая конструкция универсального лабораторного стенда делает его самодостаточным, легко тиражируемым и позволяет оперативно развернуть лабораторную работу.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТОГО ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Задание 1. Измерение параметров простого транзисторного усилительного каскада (в режиме А) (схема ОЭ)

Выполнение задания:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 5.

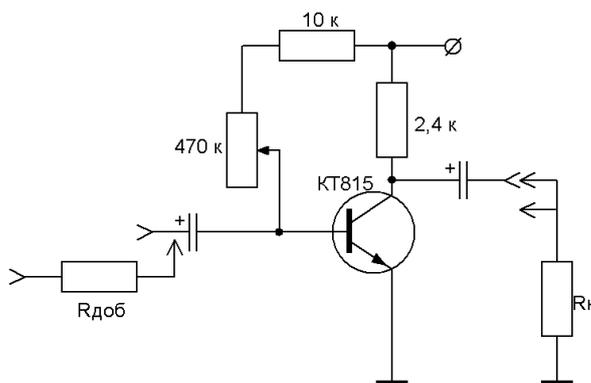


Рисунок 5 – Схема простейшего транзисторного усилительного каскада

2. С помощью переменного резистора установить режим А (напряжение $U_{кэ} \approx \frac{E}{2}$).

3. На вход усилительного каскада генератора подать сигнал частотой $F = 1$ кГц (контролировать на осциллографе) и размахом $U_s = 1 - 10$ мВ.

4. Измерить размах сигнала на выходе усилительного каскада.

Рассчитать коэффициент усиления $K_{U_{xx}} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$.

5. Измерить входное сопротивление транзисторного усилительного каскада $R_{вх}$, для чего ко входу последовательно включить резистор $R_{доб}$ сопротивлением $R = 2,7$ кОм, измерить размахи сигналов на выводах этого резистора и провести расчет $R_{вх}$.

6. Измерить выходное сопротивление $R_{вых}$ транзисторного усилительного каскада, для чего к выходу подключить резистор $R_H = 2,7$ кОм, измерить размах выходного сигнала без нагрузки, с нагрузкой и рассчитать $R_{вых}$.

7. Полагая $R_{эс} \approx r_b$, рассчитать коэффициент передачи тока базы транзистора β .

8. Наблюдать температурную зависимость режима транзисторного усилительного каскада при кратковременном нагреве корпуса транзистора с помощью паяльника.

9. Численные значения результатов измерений и расчетов внести в рабочую тетрадь.

Задание 2. Измерение параметров транзисторного усилительного каскада с коллекторной стабилизацией режима

Выполнение задания:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 6.

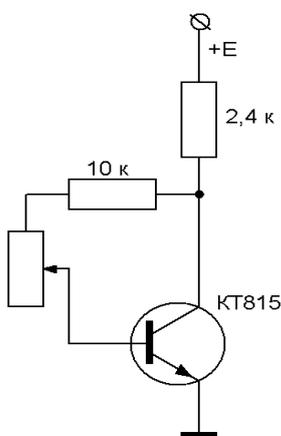


Рисунок 6 – Схема транзисторного усилительного каскада с коллекторной стабилизацией режима

2. С помощью переменного резистора установить режим А (напряжение $U_{кэ} \approx \frac{E}{2}$).

3. На вход усилительного каскада генератора подать сигнал частотой $F = 1$ кГц (контролировать на осциллографе) и размахом $U_s = 1 - 10$ мВ.

4. Измерить размах сигнала на выходе усилительного каскада.

Рассчитать коэффициент усиления $K_{U_{xx}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$.

5. Измерить входное сопротивление транзисторного усилительного каскада $R_{\text{вх}}$, для чего ко входу последовательно включить резистор $R_{\text{доб}}$ сопротивлением $R = 2,7$ кОм, измерить размахи сигналов на выводах этого резистора и провести расчет $R_{\text{вх}}$.

6. Измерить выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$ транзисторного усилительного каскада, для чего к выходу подключить резистор $R_H = 2,7$ кОм, измерить размах выходного сигнала без нагрузки, с нагрузкой и рассчитать $R_{\text{вых}}$.

7. Полагая $R_{\text{вх}} \approx r_b$, рассчитать коэффициент передачи тока базы транзистора β .

8. Наблюдать температурную зависимость режима транзисторного усилительного каскада при кратковременном нагреве корпуса транзистора с помощью паяльника.

9. Численные значения результатов измерений и расчетов внести в рабочую тетрадь.

Задание 3. Измерение параметров транзисторного усилительного каскада с резистором в цепи эмиттера (схема ОЭ)

Выполнение задания:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 7.

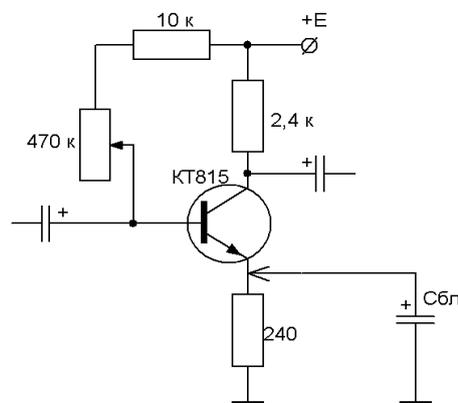


Рисунок 7 – Схема транзисторного усилительного каскада с резистором в цепи эмиттера

2. С помощью переменного резистора установить режим А
 (напряжение $U_{кэ} \approx \frac{E}{2}$).

3. На вход усилительного каскада генератора подать сигнал частотой $F = 1$ кГц (контролировать на осциллографе) и размахом $U_s = 1 - 10$ мВ.

4. Измерить размах сигнала на выходе усилительного каскада. Рассчитать коэффициент усиления $K_{U_{xx}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$.

5. Измерить входное сопротивление транзисторного усилительного каскада $R_{\text{вх}}$, для чего ко входу последовательно включить резистор $R_{\text{доб}}$ сопротивлением $R = 2,7$ кОм, измерить размахи сигналов на выводах этого резистора и провести расчет $R_{\text{вх}}$.

6. Измерить выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$ транзисторного усилительного каскада, для чего к выходу подключить резистор $R_H = 2,7$ кОм, измерить размах выходного сигнала без нагрузки, с нагрузкой и рассчитать $R_{\text{вых}}$.

7. Численные значения результатов измерений и расчетов внести в таблицу 1.

8. Наблюдать температурную зависимость режима транзисторного усилительного каскада при кратковременном нагреве корпуса транзистора с помощью паяльника.

9. Параллельно резистору в эмиттерной цепи подключить блокировочный конденсатор $C_{\text{бл}}$ емкостью $C = 10$ мкФ. Повторить измерения по п.п. 3–6, результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерения

	$R_{\text{вх}}$	$R_{\text{вых}}$	K_U
без $C_{\text{бл}}$			
с $C_{\text{бл}}$			

10. Наблюдать температурную зависимость.

Задание 4. Измерение параметров эмиттерного повторителя (схема ОК)

Выполнение задания:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 8.

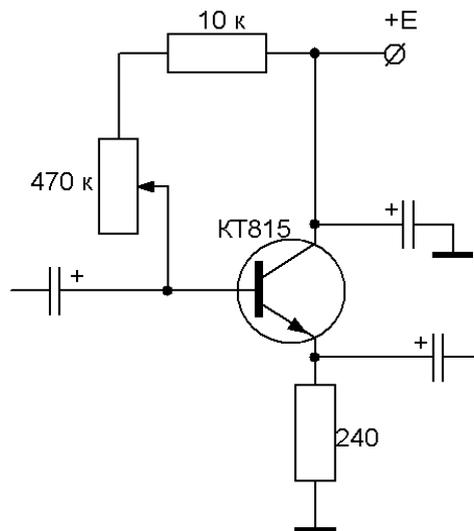


Рисунок 8 – Схема эмиттерного повторителя

2. С помощью переменного резистора установить режим А (напряжение $U_{кэ} \approx \frac{E}{2}$).

3. На вход усилительного каскада генератора подать сигнал частотой $F = 1$ кГц (контролировать на осциллографе) и размахом $U_s = 1 - 10$ мВ.

4. Измерить размах сигнала на выходе усилительного каскада.

Рассчитать коэффициент усиления $K_{U_{xx}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$.

5. Измерить входное сопротивление транзисторного усилительного каскада $R_{\text{вх}}$, для чего ко входу последовательно включить резистор $R_{\text{доб}}$ сопротивлением $R = 2,7$ кОм, измерить размахи сигналов на выводах этого резистора и провести расчет $R_{\text{вх}}$.

6. Измерить выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$ транзисторного усилительного каскада, для чего к выходу подключить резистор $R_H = 2,7$ кОм, измерить размах выходного сигнала без нагрузки, с нагрузкой и рассчитать $R_{\text{вых}}$.

7. Численные значения результатов измерений и расчетов внести в таблицу 2.

8. Наблюдать температурную зависимость режима транзисторного усилительного каскада при кратковременном нагреве корпуса транзистора с помощью паяльника.

9. Параллельно резистору в эмиттерной цепи подключить блокировочный конденсатор $C_{бл}$ емкостью $C = 10$ мкФ. Повторить измерения по п.п. 3–6, результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

	$R_{вх}$	$R_{вых}$	K_U
без $C_{бл}$			
с $C_{бл}$			

10. Наблюдать температурную зависимость.

Контрольные вопросы

1. Привести простейшую схему и пояснить принцип работы усилительного каскада, построенного на транзисторе, включенном по схеме с ОЭ.

2. Пояснить режимы работы усилительного каскада в режимах А, В, С, D.

3. Пояснить изменение параметров усилительного каскада при увеличении температуры транзистора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Задание 1. Инвертирующий масштабный усилитель

Выполнение задания:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 9.

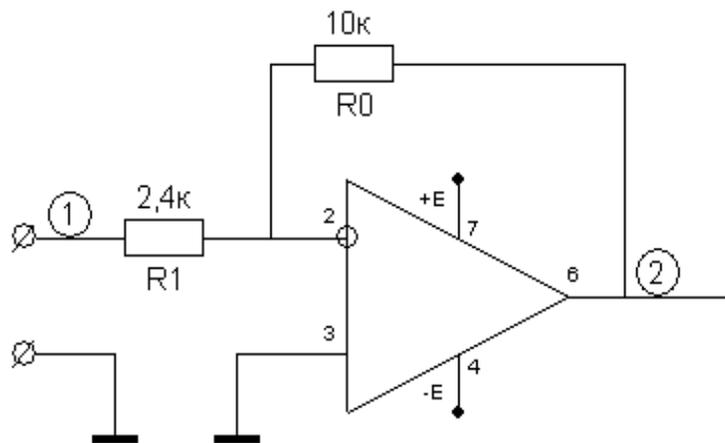


Рисунок 9 – Схема инвертирующего масштабного усилителя

2. Ко входу подключить генератор синусоидального сигнала (размах сигнала – 1В установить с помощью осциллографа, точка 1).

3. Измерить размах сигнала на выходе операционного усилителя (осциллограф в режиме внешней синхронизации, точка 1) и определить его фазу.

4. Определить масштабный коэффициент усиления (с учетом знака фазы) $K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$.

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

5. Сравнить полученное значение с расчетным.

Задание 2. Неинвертирующий масштабный усилитель

Выполнение задания:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 10.

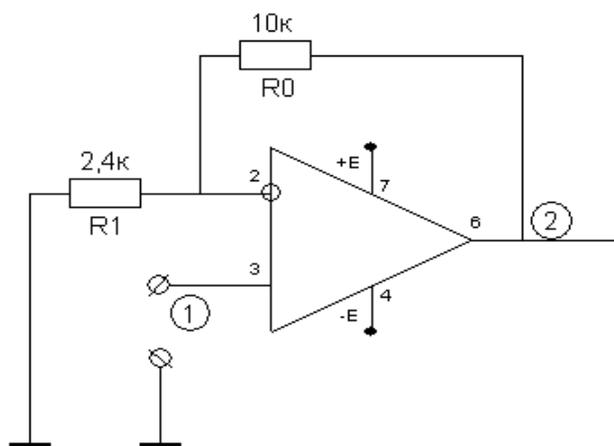


Рисунок 10 – Схема неинвертирующего масштабного усилителя

2. Ко входу подключить генератор синусоидального сигнала (размах сигнала – 1В установить с помощью осциллографа, точка 1).

3. Измерить размах сигнала на выходе операционного усилителя (осциллограф в режиме внешней синхронизации, точка 1) и определить его фазу.

4. Определить масштабный коэффициент усиления (с учетом знака фазы) $K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$.

5. Сравнить полученное значение с расчетным.

Задание 3. Инвертирующий сумматор на операционном усилителе. Повторитель напряжения

Выполнение задания:

1. Собрать схему, представленную на рисунке 11.

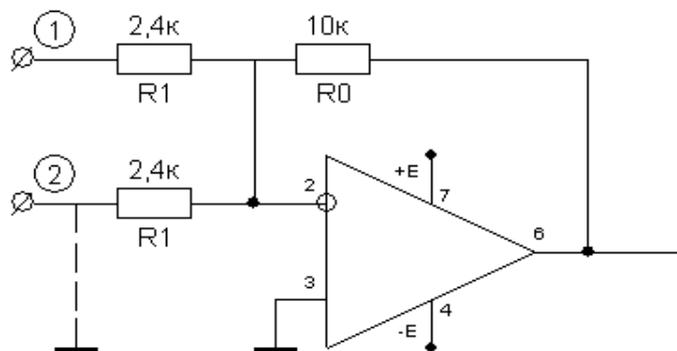


Рисунок 11 – Схема инвертирующего сумматора на операционном усилителе

2. Измерить $U_{вых}$ при подаче сигнала на вход 1.
3. Измерить $U_{вых}$ при подаче сигнала на вход 2.
4. Измерить $U_{вых}$ при подаче сигнала на входы 1 и 2.

Задание 4. Разностный усилитель на операционном усилителе

Выполнение задания:

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 12.

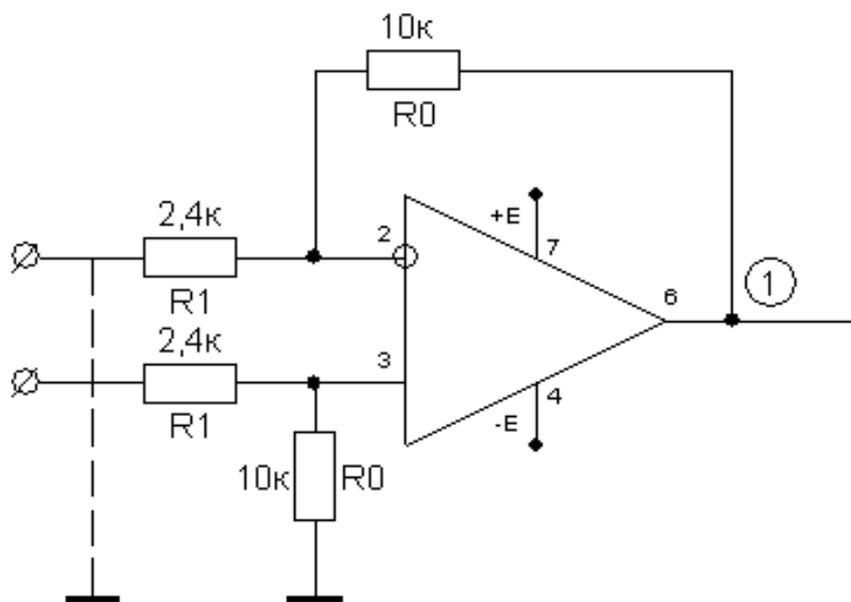


Рисунок 12 – Схема разностного усилителя на операционном усилителе

2. Подключить генератор ко входу 1.
3. Измерить $U_{вых}$ и записать значение.
4. Подключить генератор ко входу 2, при этом вход 1 подключить к \perp .
5. Измерить $U_{вых}$ и записать значение.
6. Вход 1 отключить от \perp и подключить к входу 2.
7. Подать сигнал на входы 1 и 2.
8. Измерить $U_{вых}$ (оно должно быть мало), записать значение.
9. Рассчитать отношение $U_{вых}$ (п. 3) к $U_{вых}$ (п. 8) / $U_{вых}$ (п. 5) к $U_{вых}$ (п. 8). Определить среднее значение.
10. Рассчитать коэффициент подавления синусоидального сигнала $K_n = 20 \lg$ (среднее значение п. 8).

Контрольные вопросы

1. Что такое операционный усилитель?
2. Пояснить режимы работы инвертирующего масштабного усилителя.
3. Пояснить режимы работы неинвертирующего масштабного усилителя.
4. Пояснить режимы работы инвертирующего сумматора на основе операционного усилителя.
5. Пояснить режимы работы разностного усилителя на основе операционного усилителя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РС-ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКАХ

Задание 1. Измерение основных параметров четырёхполюсников

Выполнение задания:

1. Собрать схему пассивного четырёхполюсника из резисторов стенда (рисунок 13). Используя источник напряжения и осциллограф в качестве вольтметра, измерить коэффициент передачи четырёхполюсника \dot{K}_u по напряжению в режиме холостого хода (без нагрузки)

$$\dot{K}_{U_{xx}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{1''-0}}{U_{1'-0}}$$

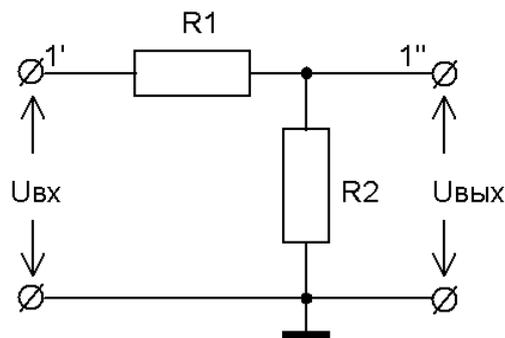


Рисунок 13 – Схема измерения параметров пассивного четырёхполюсника

2. Измерить $R_{\text{вх}}$ методом 2Б при $R_{\text{доб}} = 2,7 \text{ кОм}$ и 10 кОм , данные записать в таблицу 3, найти $R_{\text{вх}}$ среднее.

Таблица 3 – Результаты измерений

$R_{\text{доб}}$	2,7 к	10 к
U_{xx}		
$U_{\text{вх}}$		
$R_{\text{вх}}$		
$\bar{R}_{\text{вх}}$		

3. Измерить $R_{\text{вх}}$ методом 3Б.
4. Найти расчетное значение $R_{\text{вх расч}} = R_1 = R_2$, сравнить с измеренными.
5. Все данные по п.п. 3–5 занести в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты измерений

$\bar{R}_{\text{вх}} 2Б$	$R_{\text{вх}} 3Б$	$R_{\text{вх}}$ расчетное

6. Измерить $R_{\text{вх}}$ методом 2А при $R_H = 2,7$ кОм и 10 кОм, данные записать в таблицу 5, найти $R_{\text{вых}}$ среднее.

Таблица 5 – Результаты измерений

R_H	2,7 к	10 к
$U_{\text{хх}}$		
U_H		
$R_{\text{вых}}$		
$\bar{R}_{\text{вых}}$		

7. Измерить $R_{\text{вых}}$ методом 3А.
8. Найти расчетное значение $R_{\text{вых}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, сравнить с измеренным.
9. Все данные по п.п. 7–9 занести в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты измерений

$R_{\text{вых}} 2А$	$R_{\text{вых}} 3А$	$R_{\text{вых}}$ расчетное

Задание 2. Исследование цепи дифференцирующего типа при гармоническом воздействии

Выполнение задания:

1. Собрать схему RC цепей дифференцирующего типа из элементов стенда (рисунок 14).

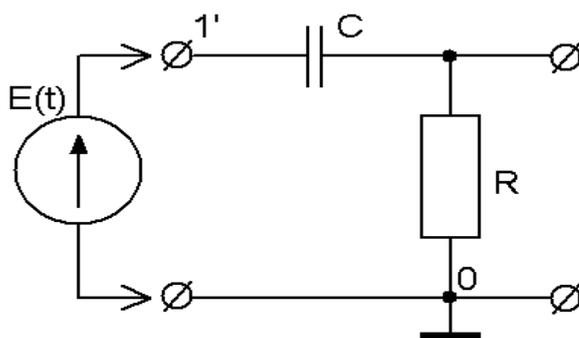


Рисунок 14 – Схема четырехполюсника дифференцирующего типа

Подключить ко входу цепи измерительный генератор (синусоидального сигнала) и осциллограф, включенный в режиме внешней синхронизации (вход «синхр» – к выходу генератора).

По осциллографу установить амплитуду выходного сигнала генератора максимально возможной по высоте экрана осциллографа. Записать значение амплитуды входного сигнала.

2. Измерять по осциллографу значения $U_{вых}(f)$ и $\Delta t(f)$ на заданных в таблице 7 частотных точках.

Таблица 7 – Результаты измерений

f (кГц)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200
$T_{повт}$ (мс)	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005
Δt (мс)													
$U_{вых}$													
K_u													
$\Delta\varphi^\circ$													

3. Значения частот контролировать по осциллографу, рассчитав $T_{повт.}$

Рассчитать значения: $K_U(f_i) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$; $\Delta\varphi(f_i) = 360^\circ \frac{\Delta t}{T}$.

4. По данным таблицы 7 построить АЧХ и ФЧХ цепи и найти значения $f_{зр}(K)$ и $f_{зр}(\varphi)$.

5. По данным элементов схемы рассчитать значения $f_{зр. расч.}$ и $T_{зр}$ формулам: $f_{зр. расч.} = \frac{1}{2\pi RC}$; $T_{зр} = \frac{1}{f_{зр}}$.

6. Установить $f_{зр. расч.}$ на генераторе, контролируя $T_{зр}$ по осциллографу. Измерить $U_{вых}(f_{зр})$, $\Delta t(f_{зр})$ и рассчитать по результатам измерений $|K|(f_{зр})$, $\Delta\varphi(f_{зр})$.

Задание 3. Исследование цепи дифференцирующего типа при гармоническом воздействии, расчёт критической частоты

Выполнение задания:

1. Собрать схему (рисунок 15) RC цепей дифференцирующего типа из элементов стенда.

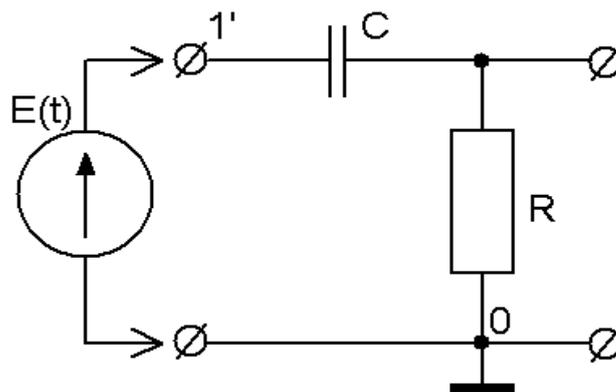


Рисунок 15 – Схема четырехполюсника дифференцирующего типа

Подключить ко входу цепи измерительный генератор (синусоидального сигнала) и осциллограф, включенный в режиме внешней синхронизации (вход «синхр» – к выходу генератора).

По осциллографу установить амплитуду выходного сигнала генератора максимально возможной по высоте экрана осциллографа. Записать значение амплитуды входного сигнала.

2. Подключить осциллограф к выходу цепи и, изменяя частоту сигнала генератора, наблюдать изменения амплитуды сигнала при увеличении частоты.

Добиться амплитуды выходного сигнала равной 0,7 амплитуды входного.

Записать значения критической частоты генератора.

3. Изменяя частоту генератора, аналогично пункту 2, наблюдать изменения фазового сдвига при увеличении частоты.

Установить фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного равный 45 градусов (одна восьмая часть периода повторения).

Записать значения частоты генератора, которая будет равна критической частоте.

4. Рассчитать значения критической частоты.

Задание 4. Исследование цепи дифференцирующего типа при импульсном воздействии

Выполнение задания:

1. Подключить ко входу цепи (рисунок 15) встроенный генератор прямоугольных импульсов (из состава стенда). К его внешним выводам и подключить переменный резистор $R_{var} = 470$ кОм.

2. Установить период повторения импульсов $T = 2$ мс.

3. Зарисовать с экрана осциллографа временные диаграммы сигналов на входе и выходе цепи.

4. Определить значения τ_i , τ_r .

5. Найти значение $f_{гр\ nx}$.

Задание 5. Исследование цепи интегрирующего типа при гармоническом воздействии

Выполнение задания:

1. Собрать схему RC цепи интегрирующего типа (рисунок 16) из элементов $R_1 = 2,7$ кОм, $R_2 = 10$ кОм, $C = 10$ нФ.

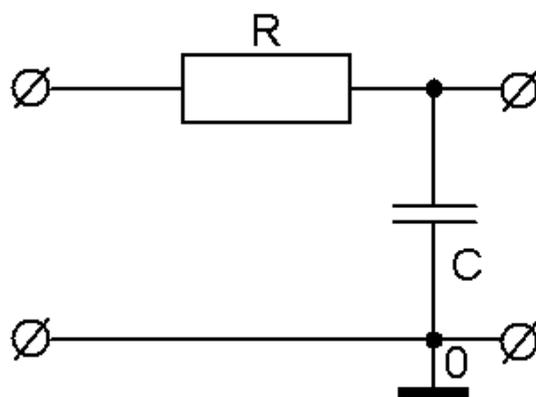


Рисунок 16 – Схема четырехполюсника интегрирующего типа

Подключить ко входу цепи измерительный генератор (синусоидального сигнала) и осциллограф, включенный в режиме внешней синхронизации.

По осциллографу установить амплитуду входного сигнала максимально возможной по высоте экрана. Записать значение амплитуды входного сигнала (U_m) (или размаха – $U_{разм} = 2U_m$).

2. Измерять по осциллографу значения $U_{вых}(f)$ и $\Delta t(f)$ на заданных в таблице 8 частотных точках.

Таблица 8 – Результаты измерений

f (кГц)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200
$T_{новт}$ (мс)	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005
Δt (мс)													
$U_{вых}$													
K_u													
$\Delta\varphi^\circ$													

3. Значения частотных точек контролировать по осциллографу по $T_n = \frac{1}{f}$. Рассчитать значения по результатам измерений (занести в таблицу 8).

4. Рассчитайте значения: $K_U(f_i) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$; $\Delta\varphi(f_i) = 360^\circ \frac{\Delta t}{T}$.

5. По данным таблицы 8 построить АЧХ и ФЧХ цепи и найти значения $f_{cp}(K)$ и $f_{cp}(\varphi)$.

6. По данным элементов схемы рассчитать значения $f_{cp. \text{ расч.}}$ и T_{cp} по формулам: $f_{cp. \text{ расч.}} = \frac{1}{2\pi RC}$; $T_{cp} = \frac{1}{f_{cp}}$.

7. Установить $f_{cp. \text{ расч.}}$ на генераторе, контролируя T_{cp} по осциллографу. Измерить $U_{\text{вых}}(f_{cp})$, $\Delta t(f_{cp})$ и рассчитать по результатам измерений $|K|(f_{cp})$, $\Delta\varphi(f_{cp})$.

Задание 6. Исследование цепи интегрирующего типа при гармоническом воздействии, расчёт критической частоты

Выполнение задания:

1. Собрать схему (рисунок 16) RC цепей дифференцирующего типа из элементов стенда.

Подключить ко входу цепи измерительный генератор (синусоидального сигнала) и осциллограф, включенный в режиме внешней синхронизации (вход «синхр» – к выходу генератора).

По осциллографу установить амплитуду выходного сигнала генератора максимально возможной по высоте экрана осциллографа. Записать значение амплитуды входного сигнала.

2. Подключить осциллограф к выходу цепи и, изменяя частоту сигнала генератора, наблюдать изменения амплитуды сигнала при увеличении частоты.

Добиться амплитуды выходного сигнала равной 0,7 амплитуды входного.

Записать значения критической частоты генератора.

3. Изменяя частоту генератора аналогично пункту 2, наблюдать изменения фазового сдвига при увеличении частоты.

Установить фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного равный 45 градусов (одна восьмая часть периода повторения).

Записать значения частоты генератора, которая будет равна критической частоте.

4. Рассчитать значения критической частоты.

Задание 7. Исследование цепи интегрирующего типа при импульсном воздействии

Выполнение задания:

1. Подключить ко входу цепи встроенный генератор прямоугольных импульсов. К его внешним выводам подключить переменный резистор $R_{var} = 470 \text{ кОм}$. Установить период повторения импульсов $T = 2 \text{ мс}$.
2. Зарисовать с экрана осциллографа временные диаграммы сигналов на входе и выходе цепи.
3. В соответствии с методикой определить значения τ_1, τ_2 .
4. Найти значения $\overline{f_{гр.ПХ}}$.

Задание 8. Исследование резонанса цепи в последовательном колебательном контуре

Выполнение задания:

1. Собрать схему последовательного колебательного контура (рисунок 17) из элементов стенда $C = 10 \text{ н}$, L -контакты 13 А, резистор $R = 2,7 \text{ к}$.

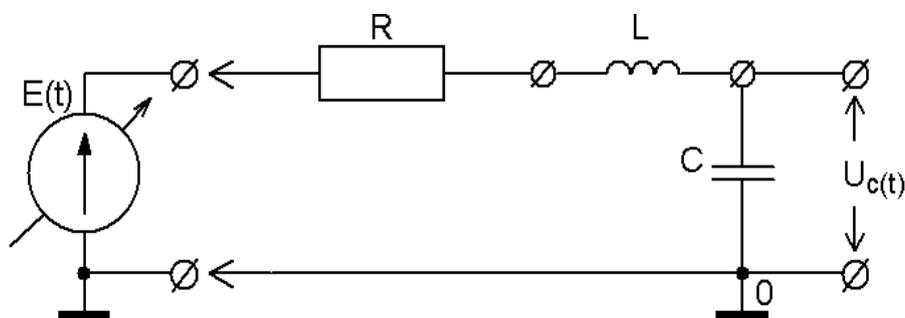


Рисунок 17 – Схема последовательного колебательного контура

2. Подключить генератор \sin сигнала. Подключить осциллограф к точкам А и 0.
3. Изменяя частоту сигнала генератора и контролируя, установить $U_K = \min$, при этом $f_{ген} = f_0$.
4. Измерить значения $U_K(f_0)$ и $U_C(f_0)$. Определить $Q = \frac{U_K(f_0)}{U_C(f_0)}$. Записать значения в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты измерений

	f_0	$U_R(f_0)$	$U_C(f_0)$	Q
r_k				
$r_k + R$				

5. Не изменяя частоту генератора, измерить напряжение на его выходе $E(f_0)$ и $U(f_0)$, $E(f_0) = U'_K(f_0)$. Аналогично определить Q .

6. По данным измерений найти значения L (мкГн), ρ (Ом), r_k (Ом).

Задание 9. Исследование резонанса цепи в параллельном колебательном контуре

Выполнение задания:

1. Собрать схему (рисунок 18) параллельного колебательного контура, подключив L параллельно C . Последовательно с контуром включить резистор $R = 100$ кОм. К концу резистора подключить генератор синусоидального (sin) сигнала.

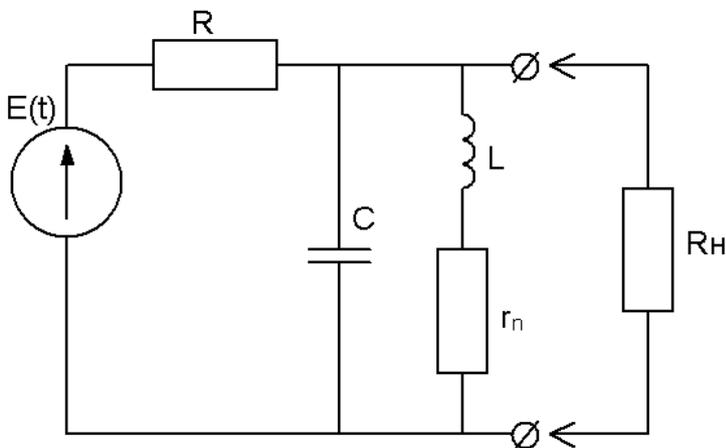


Рисунок 18 – Схема параллельного колебательного контура

2. Подключить осциллограф параллельно контуру.
3. Изменяя частоту сигнала генератора и контролируя U_X , установить $U_K(f) = \max$, при этом $f_{ген} = f_0$.
4. Изменяя частоту генератора, определить значения частот f_H и f_B по критерию $U_K(f_H) = U_K(f_B) = 0,7 U_K(f_0)$.

5. Определить значение $Q = \frac{f_0}{f_B - f_H}$. Данные измерений занести в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты измерений

	f_0	$U_R(f_0)$	$U_C(f_0)$	Q
r_k				
$r_k + R$				

6. По данным измерений найти значения L (мкГн), ρ (Ом), r_k (Ом).

Контрольные вопросы

1. Объяснить отличие результатов практических измерений от расчетных.
2. Указать основные источники погрешностей при измерениях.
3. Объяснить методику измерения f_{cp} по ФЧХ, АЧХ.
4. Объяснить методику определения f_0 для параллельного контура.
5. Объяснить методику определения f_0 для последовательного контура.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Задание 1. Генератор синусоидального сигнала на операционном усилителе

Выполнение задания:

1. Собрать схему, представленную на рисунке 19.

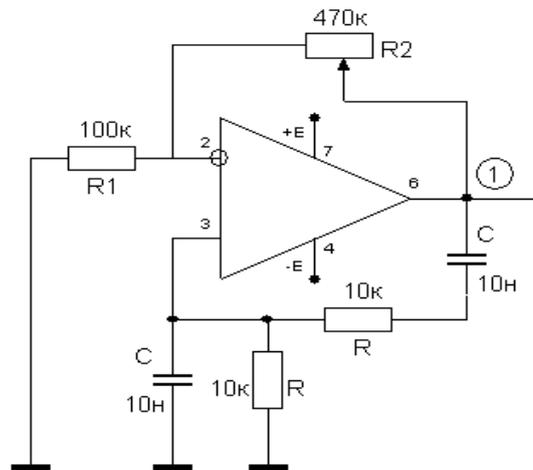


Рисунок 19 – Схема генератора синусоидального сигнала на операционном усилителе

2. Подключить осциллограф к выходу 1.
3. Изменяя сопротивление R_2 получить на выходе синусоидальный сигнал.
4. Измерить по осциллографу его частоту.
5. Рассчитать теоретически значение частоты $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$.
6. Сравнить с практическим значением, сделать вывод.

Задание 2. Релаксационный генератор на операционном усилителе

Выполнение задания:

1. Собрать схему, представленную на рисунке 20.

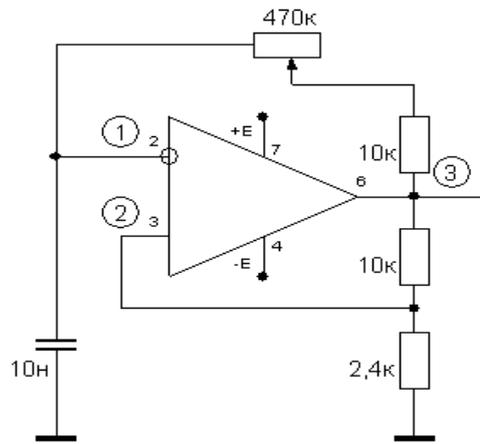


Рисунок 20 – Схема релаксационного генератора на операционном усилителе

2. Подключить генератор к точке 1 и зарисовать осциллограмму в масштабе.
3. Подключить генератор к точке 2 и зарисовать осциллограмму в масштабе.
4. Подключить генератор к точке 3 и зарисовать осциллограмму в масштабе.
5. Определить параметры сигнала в точке 3 – период повторения, скважность, частота повторения, размах.

Задание 3. Генератор импульсов с регулировкой скважности

Выполнение задания:

1. Собрать схему, представленную на рисунке 21.

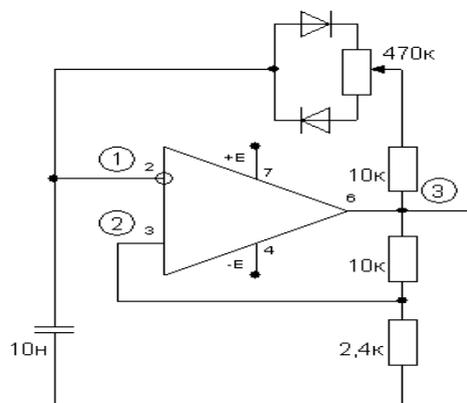


Рисунок 21 – Схема генератора импульсов с регулировкой скважности

2. Подключить осциллограф в точке 3 и измерять сопротивление на переменном резисторе: 2 крайних положения и среднее.

3. Зарисовать в масштабе осциллограммы. Измерить $t_{U_1}, t_{U_2}, t_{U_3};$
 $T_{П_1}, T_{П_2}, T_{П_3}.$

4. Рассчитать скважность сигнала для трех случаев.

5. Определить пределы изменения скважности $Q = Q_{\min} - Q_{\max}.$

Контрольные вопросы

1. Пояснить принцип работы генератора синусоидальных сигналов, построенного на базе операционного усилителя.

2. Пояснить принцип работы релаксационного генератора, построенного на базе операционного усилителя.

3. Пояснить принцип работы генератора импульсов, построенного на базе операционного усилителя.

4. Что такое скважность?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ДЕТЕКТОР АМПЛИТУДНО-ДЕТЕКТИРОВАННОГО СИГНАЛА

Задание 1. Генератор синусоидального сигнала на операционном усилителе

Выполнение задания:

1. Собрать схему, представленную на рисунке 22.

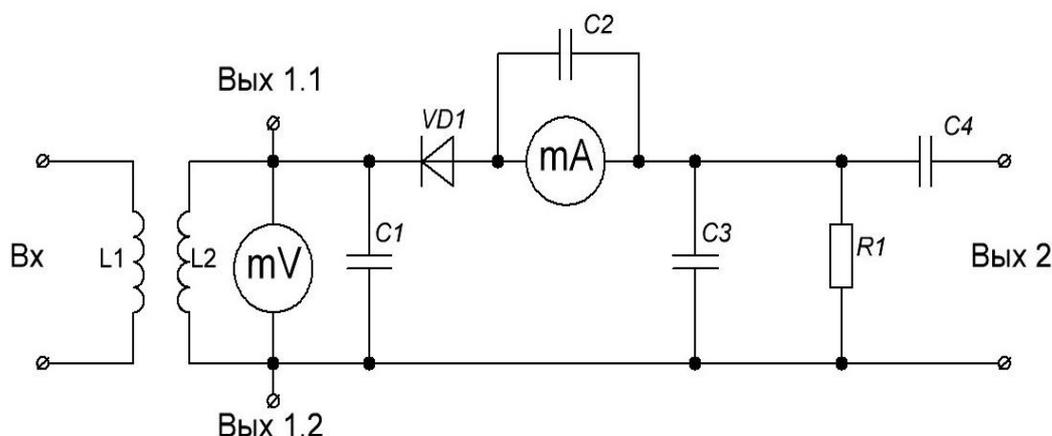


Рисунок 22 – Схема изучения амплитудного детектора

2. На вход подать немодулированное напряжение величиной 100 мВ. Изменяя частоту генератора в районе 465 кГц, подстроить генератор по максимальному показанию милливольтметра.
3. Подключить осциллограф к выходу 2 и выходу 3.
4. Включить генератор на внутреннюю модуляцию 1 000 Гц, установить глубину модуляции $M = 30 \%$.
5. Посмотреть осциллограммы напряжений на выходе 2 и 3 при изменении частоты модуляции от 400 до 1 000 Гц и глубины модуляции.
6. Снять детекторную характеристику $I_0 = f(U_m)$. Для этого отключить модуляцию и, устанавливая последовательно значения входного напряжения амплитудного детектора (на зажимах выход 2) $U_{ВХ} = 0,5; 1; 2; 3$ В, измерить значения постоянной составляющей тока I_0 , протекающего через диод. Построить график.
7. Измерить коэффициент передачи амплитудного детектора. Включить внутреннюю модуляцию $F = 1\ 000$ Гц, $M = 30 \%$. Установить

на входе детектора (зажимы «выход 2») напряжение $U_{вх0} = 1,12$ В, что соответствует амплитудному значению $U_{m0} = 3,0$ В. Измерить выходное низкочастотное напряжение («выход 3») $U_{выхF}$, рассчитать соответствующее ему амплитудное значение $U_{mF} = \sqrt{2} \cdot U_{выхF}$. Определить коэффициент передачи детектора.

8. Рассчитать глубину модуляции $M_{кр1}$, при которой возникают нелинейные искажения за счет инерционности нагрузки, по следующим данным: $F = 1\ 000$ Гц; $R_H = 100$ кОм; $C_H = 6\ 800$ пФ.

9. Измерить коэффициент гармоник при глубине модуляции $M = 10\%$ ($M > M_{кр1}$). Сравнить результаты измерений.

10. Установить $M = 90\%$. Повторить измерение при различных значениях R_1 . Сравнить результаты измерений. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение детектора в РПрУ?
2. Нарисовать схему диодного АМ детектора, объяснить назначение элементов.
3. Чем характеризуются передаточные характеристики детектора?
4. Что такое «частотные искажения»? Чем они определяются в детекторе?
5. Что такое «нелинейные искажения»? Как они определяются?
6. Объясните процесс возникновения нелинейных искажений, связанных с инерционностью нагрузки детектора. Каким образом их можно уменьшить?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. СЕТЕВЫЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Задание 1. Однополупериодный выпрямитель

Выполнение задания:

1. Собрать схему (рисунок 23) однополупериодного выпрямителя.

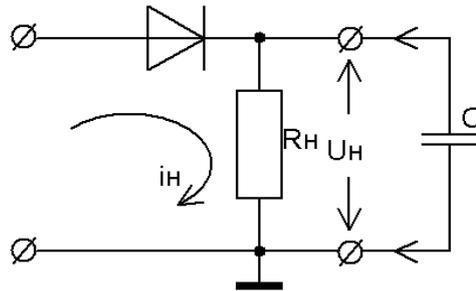


Рисунок 23 – Схема простейшего однополупериодного выпрямителя

2. На вход схемы подать синусоидальный сигнал $U_{ex}(t) = 8 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$ от трансформатора.
3. Зарисовать осциллограммы входного и выходного сигналов.
4. Подключать параллельно R_n конденсаторы C_ϕ (оксидные, соблюдать полярность). Для различных значений C_ϕ измерить уровень пульсаций $U_{пульс.}$ и среднее значение $U_{вых.}$
5. Данные занести в таблицу 11, рассчитать коэффициенты сглаживания пульсаций: $K_\phi = \frac{U_{пульс.вх.}}{U_{пульс.вых.}}$.

Таблица 11 – Результаты измерений

C_ϕ (мкФ)	$U_{пульс.}$	U_n	K_ϕ
15,0			
68,0			
15,0 + 68,0			

6. Собрать из элементов схемы мостовой выпрямитель.
7. Выполнить п.п. 2–5 для мостовой схемы.

Задание 2. Изучение параметров параллельного стабилизатора напряжения

Выполнение задания:

1. Рассчитать элементы и параметры стабилизатора по данным: $U_{\text{вх}} = E = 17 \text{ В}$, стабилитрон Д814 А; $I_{\text{см. max}} = 45 \text{ мА}$, $I_{\text{см. min}} = 5 \text{ мА}$, $U_{\text{см.}} = 7,5 + 8,5 \text{ В}$, $r_{\text{д}} = 10 \text{ Ом}$.
2. Определить R , задаваясь $I_0 = I_{\text{см. max}}$ ($R = 240 \text{ Ом}$).
3. Собрать схему (рисунок 24) по данным расчета, используя элементы стенда.

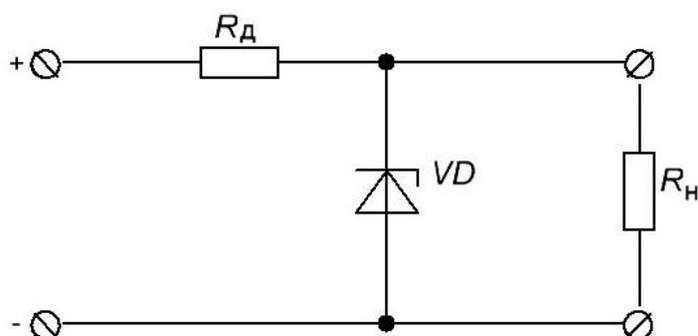


Рисунок 24 – Схема параллельного стабилизатора напряжения

4. Собрать схему мостового выпрямителя (рисунок 25), подключив ко входу трансформатор с $U(t) = 12 \text{ В}$, выход – ко входу стабилизирующего четырехполюсника.
5. Наблюдать сигнал на стабилитроне $U_{\text{вых}}(t)$ (результат наблюдений пояснить).

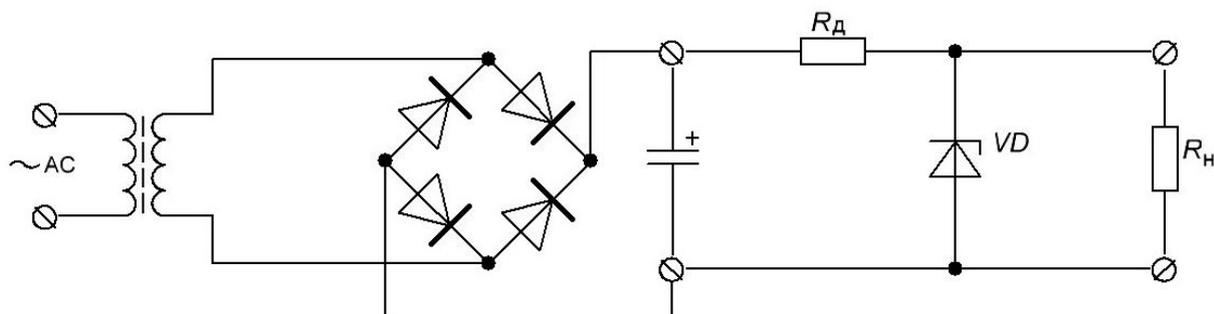


Рисунок 25 – Схема мостового выпрямителя с подключенным к нему параметрическим стабилизатором

6. Параллельно входу схемы подключить конденсаторы фильтра (оксидные, соблюдать полярность!) из состава стенда.

7. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения при подключении конденсаторов различной емкости. Измерить амплитуды пульсаций сигнала на входе и на выходе схемы. Результаты занести в таблицу 12. Определить коэффициенты $K_{ст}$ и K_{ϕ} .

Таблица 12 – Результаты измерений

C_{ϕ} (мкФ)	$U_{пульс.вх.}$	$U_{пульс.вых.}$	$K_{ст} = K_{\phi}$
15,0			
68,0			
15,0 + 68,0			

8. Измерить выходное сопротивление схемы при подключении нагрузки с заданным сопротивлением R_n .

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип работы параметрического стабилизатора. Объяснить принцип однополупериодного выпрямителя графически.
2. Объяснить принцип сглаживания пульсаций.
3. Объяснить принцип работы двухполупериодного выпрямителя.
4. Построить временные диаграммы работы схемы.
5. Объяснить принцип работы мостового выпрямителя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. ЦАП НА ВЗВЕШЕННЫХ РЕЗИСТОРАХ И СТРУКТУРАХ R-2R.

Задание 1. ЦАП на взвешенных резисторах и структурах R – 2R

Выполнение задания:

1. Собрать электрическую схему, представленную на рисунке 26.

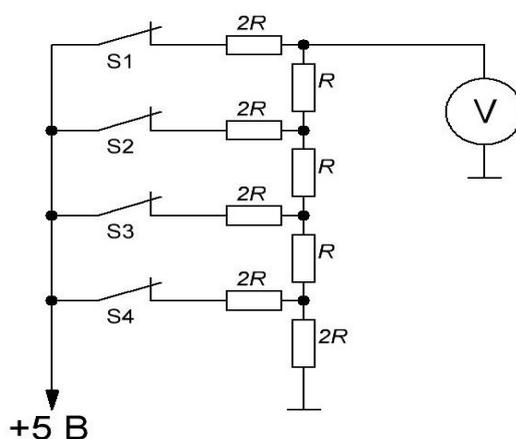


Рисунок 26 – Схема исследования R-2R ЦАП

2. Установить переключатели S1–S4.

3. Последовательно устанавливая переключатели S1–S4 ввода данных в верхнее/нижнее положение, причем верхнее положение соответствует логической единице «1», а нижнее положение – логическому нулю «0». Показания вольтметра $U'_{\text{ВЫХ}}$, соответствующие входному коду ЦАП, занести в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты измерений

Входной код	S1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	S2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	S3	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
	S4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	$N_{\text{ВХ}} 10$															
Вых. сигн.	$U'_{\text{ВЫХ}}$															
	$U_{\text{ВЫХ}}$															

4. Перевести входной двоичный код в число в десятичной системе счисления. Полученные данные занести в таблицу 1.

5. Определить расчетное значение выходного сигнала по формуле:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{max}} \frac{N_{\text{вх}}}{N_{\text{max}}}.$$

6. По данным таблицы 1 построить графики расчетной и экспериментальной функций преобразования ЦАП.

Контрольные вопросы

1. Дать определение цифро-аналогового преобразователя.
2. Пояснить принцип работы ЦАП на взвешенных резисторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Угрюмов, Е. П. Цифровая схемотехника / Е. П. Угрюмов. – СПб. : БХВ – Санкт – Петербург, 2000. – 528 с.
2. Галкин, В. И. Промышленная электроника и микроэлектроника / В. И. Галкин. – Минск : Беларусь, 2000. – 350 с.
3. Ибрагим, К. Ф. Основы электронной техники. Элементы, схемы, системы : пер. с англ. / К. Ф. Ибрагим. – М. : Мир, 2001. – 398 с.
4. Основы электроники, микропроцессорной техники и техники связи : учебно-методическое пособие / БГАТУ, кафедра автоматизированных систем управления производством ; сост. : И. Л. Дудников, И. П. Матвеев. – Минск : БГАТУ, 2005. – 139 с.
5. Миловзоров, О. В. Электроника : учебник для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – М. : Высшая школа, 2005. – 288 с.
6. Бобровников, Л. З. Электроника : учебник для вузов / Л. З. Бобровников. – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.
7. Теоретические основы электротехники в экспериментах и упражнениях. Практикум в среде Electronics Workbench : учебное пособие / Е. О. Кулешова [и др.] ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 140 с.

Производственно-практическое издание

Шершне Евгений Борисович

ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Практическое пособие

Редактор Е. С. Балашова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 03.04.2025. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 2,54.
Тираж 10 экз. Заказ 227.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий в качестве:
издателя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013 г.;
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 г.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.