

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»**

ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Для студентов специальности

1-31 04 01 Физика (по направлениям) 1-31 04 01-03 Физика (научно-педагогическая деятельность)

**Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2017**

Правила внутреннего распорядка и техники безопасности при выполнении лабораторных работ

При работе в лаборатории «Основы радиоэлектроники» во избежании несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент при выполнении лабораторных работ должен выполнять следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.
2. При работе в лаборатории категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места. Способствующие созданию условий, могущих привести к нарушению правил техники безопасности.
3. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.
4. Студенческая группа делится на подгруппы (не более 8 студентов), а подгруппы – на бригады, которые затем распределяются по лабораторным стендам. В бригаде должно быть не менее двух студентов. Работа одного студента на лабораторном стенде категорически запрещена.
5. Сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме, обеспечивая при этом надежность электрических контактов всех разъемных соединений.
6. Приступая к сборке электрической цепи, необходимо убедиться в том, что к стенду не подано напряжение.
7. При сборке электрической цепи необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручивались петля.
8. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю.
9. Включение электрической цепи под напряжение производится только с разрешения и в присутствии преподавателя.
10. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить ее от питающей сети и доложить об этом преподавателю.
11. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключенном напряжении питания.
12. Запрещается прикасаться пальцами, ручками и другими предметами оголенных токоведущих частей электрической цепи, находящихся под напряжением.
13. При обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя.

14. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую цепь и привести в порядок рабочее место.

Общие методические рекомендации и указания по выполнению лабораторных работ

Подготовка к лабораторным работам. Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с расписанием учебных занятий в университете и в течение определенного времени. Поэтому для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

- 1) предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- 2) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы;
- 3) по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- 4) до проведения лабораторной работы подготовить в рабочей тетради соответствующие схемы, таблицы наблюдений и расчетные формулы;
- 5) неподготовленные студенты к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Выполнение лабораторных работ. Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если экспериментатор отчетливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельности проводимых исследований является тщательная подготовка студента к лабораторной работе. При этом необходимо соблюдение следующих требований.

1. Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и его номинальными данными (номинальными данными являются значения тока, напряжения и мощности, на которые рассчитаны соответствующие устройства), а также с измерительными приборами, предназначенными для проведения соответствующей лабораторной работы.
2. Сборку электрической цепи необходимо производить в точном соответствии с заданием.
3. После окончания сборки электрическая цепь должна быть предъявлена преподавателю. Включать цепь под напряжением только с разрешения преподавателя.
4. Запись показаний всех приборов в процессе выполнения лабораторной работы следует производить по возможности одновременно и быстро.
5. Результаты измерений заносятся студентом в свою рабочую тетрадь.

6. После выполнения лабораторной работы результаты эксперимента вместе с простейшими контрольными расчетами предъявляются для проверки преподавателю до разборки электрической цепи.

7. После окончания работы в лаборатории рабочее место должно быть приведено в порядок.

8. В течении всего времени занятий в лаборатории студенты обязаны находиться на своих рабочих местах. Выходить из помещения лаборатории можно только с разрешения преподавателя.

Оформление отчета по лабораторным работам. Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. По каждой выполненной лабораторной работе составляется отчет (листы формата А4). Схемы и графики выполняются с соблюдением принятых стандартных обозначений. Требования по содержанию отчета приводятся в каждой лабораторной работе. Отчет по каждой лабораторной работе должен содержать основные выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ СТЕНДА ЛАБОРАТОРНОГО К 4826

1 Назначение

Стенд предназначен для проведения лабораторных работ по курсу «Основы радиоэлектроники».

2 Состав стенда

В состав стенда входит: блок питания (БП), генератор сигнала (ГС), генератор трехфазного напряжения (ГТН), панель монтажная, прибор комбинированный 43101, прибор комбинированный Ц 4342-М1, осциллограф С1-101, вольтметр М 903/4, набор радиодеталей, перемычки, набор проводов со штекерами.

3 Краткие сведения по приборам, входящим в состав стенда

3.1 Блок питания стенда


Блок обеспечивает напряжения и токи, указанные в таблице.

Таблица.

Входные напряжения, В	Максимально допустимый ток, А	Предел регулирования напряжения, В
5	0,1	Нерегулируемое
+ 15	0,1	от 5 до 20
- 15	0,1	от 5 до 20
~ 8	0,1	Нерегулируемое
~ 24	0,1	Нерегулируемое

Включение БП осуществляется тумблером "СЕТЬ ВКЛ". Контроль выпрямленных постоянных (напряжений) осуществляется вольтметром 903/4, путём его подключения к каждому из выходов (5V,+15V,-15V) переключателем "СТАБ. НАПРЯЖЕНИЯ". Плавная регулировка напряжений выходов «+15V» и «-15V» осуществляется переменными резисторами "ПЛАВНАЯ РЕГУЛИРОВКА НАПРЯЖЕНИЯ".

3.2 Генератор сигналов

Генератор обеспечивает выходные сигналы следующей формы:
- прямоугольной «  »;

- пилообразной «  »;

- треугольной «  »;

- синусоидальной «  ».

Частота сигналов синусоидальной формы регулируется в пределах от 20 Гц до 20 000 Гц с помощью переключателя "ЧАСТОТА Hz" и переменного резистора "ПЛАВНО". Частота сигнала пилообразной формы в два раза выше. Форма сигналов изменяется переключателем "ФОРМА СИГНАЛА". Плавное и ступенчатое регулирование амплитуды сигналов осуществляется до 5V на нагрузке 3кΩ переключателем "ВЫХ. НАПРЯЖЕНИЕ, V" и переменным резистором "ПЛАВНО". Включение ГС осуществляется тумблером "ВКЛ" после включения блока питания (БП).

3.3 Генератор трёхфазного напряжения

Генератор обеспечивает амплитуду выходного напряжения каждой фазы не менее 8V. Диапазон частоты ГГН от 5 кГц до 20 кГц. Регулируется переменным резистором "ЧАСТОТА КГц". Включается генератор тумблером "ВКЛ" после включения БП.

3.4 Прибор измерительный комбинированный 43101

3.4.1 Назначение

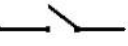
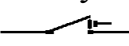
Прибор предназначен для измерения напряжения и силы постоянного тока, среднеквадратичного значения напряжения и силы переменного тока синусоидальной формы, сопротивления постоянному току, электрической ёмкости.

3.4.2 Технические характеристики

Технические характеристики прибора (пределы шкал измеряемых величин, частотный диапазон) приведены в техническом описании. Питается прибор от встраиваемых (с тыльной стороны прибора) электрохимических источников тока. При измерении ёмкости используется дополнительно наружный источник переменного напряжения.

3.4.3 Подготовка прибора к работе и порядок работы

Для получения правильных результатов измерений и предупреждения возможных повреждений прибора необходимо придерживаться следующих правил:

- установить электрохимические источники тока в камеру прибора, соблюдая полярность;
- установить прибор в горизонтальном положении, а стрелку прибора установить на отметку механического нуля корректором;
- проконтролировать (при необходимости) исправность электрохимического тока и работоспособность защиты прибора (при нажатии на кнопку  должно сработать предварительно включённое устройство защиты прибора, а стрелка должна отклониться на 37-47 делений по шкале V, а в режиме измерительно-постоянного тока без удвоения);
- нажатием кнопки  включить автоматическую защиту от перегрузок;
- включить прибор в схему по одному из рисунков 1 - 5 с помощью проводников, при обесточенной исследуемой схеме ;

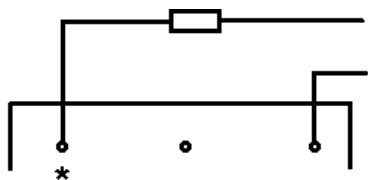


Рисунок 1- Схема подключения прибора при измерении напряжения

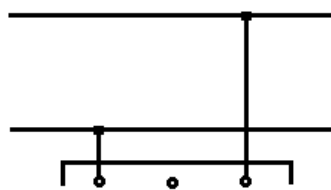


Рисунок 2- Схема подключения прибора при измерении тока

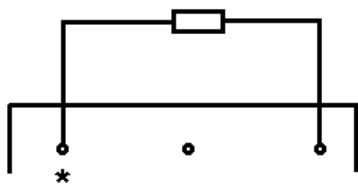


Рисунок 3 - Схема подключения прибора при измерении сопротивлений (в положении переключателя Ω).

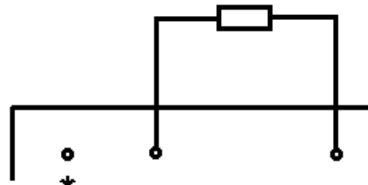


Рисунок 4 - Схема подключения прибора при измерении сопротивлений (в положении переключателя K Ω).

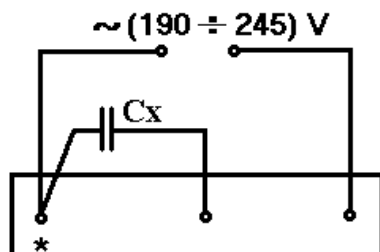



Рисунок 5 - Схема подключения прибора при измерении ёмкости (0 - 1000 пФ)

- нажать одну из кнопок переключателя рода работы « \rightarrow », « \sim » или обе одновременно (при измерении сопротивления току и электрической емкости);
- установить переключатель диапазонов измерений в одном из фиксированных положений, соответствующее предлагаемому значению измеряемой величины;
- при одновременном нажатии кнопок «V,mAx2» и « \rightarrow » или «V,mAx2» и « \sim » конечные значения диапазонов измерений силы и напряжения постоянного и переменного тока удваивается;
- перед измерением сопротивлений в диапазоне « Ω » ручной установки нуля омметра установить стрелку прибора на отметку « ∞ » и шкалы « Ω », а в диапазоне измерений «к Ω , пФ» этой же ручкой установить стрелку на отметку «0» шкалы «к Ω , пФ» замкнув предварительно зажим коротко, а при измерении емкости подав на соответствующие зажимы переменного напряжения питания рисунок 5;
- включить питание исследуемой схемы и определить значение измеряемой величины по соответствующей шкале отсчетного устройства и положением переключателя диапазонов и кнопки «V,mAx2»;
- после окончания измерений переключатель диапазонов установить в положение «500V» а кнопки переключателя рода работ отпустить и выключить защиту прибора нажав кнопку «».

Внимание. Не допускается переключение прибора с одного вида измерений на другой, а также переключение диапазонов измерений без отключений прибора от исследуемой схемы.

3.5 Прибор измерительный комбинированный Ц 4342 - М1

3.5.1 Назначение



Прибор предназначен для измерения силы и напряжения постоянного тока, среднеквадратичного значения силы и напряжения переменного синусоидального тока, сопротивления постоянному току, абсолютного уровня значения сигнала по напряжению переменного тока, параметров биполярных транзисторов мощностью до 150 mW (статистического коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером h_{21E} , обратных токов коллектора I_{CBO} и эмиттера I_{EBO} ; коллектор -эмиттер I_{CEO} при замкнутом выводе базы и коллектор -эмиттер I_{CES} при короткозамкнутых выводах эмиттера и базы диапазонных измерений силы постоянного тока).

3.5.2 Технические характеристики

Технические характеристики прибора (пределы измеряемых величин, частотный диапазон прибора) приведены в техническом описании. Питается прибор от электрохимических источников питания напряжением (3,7-4,7)V. При измерении параметров транзисторов типа n-p-n схема автоматической защиты от перегрузок отключается.

3.5.3 Подготовка прибора к работе и порядок работы

Для получения достоверных результатов измерений и для предупреждения возможных повреждений прибора необходимо придерживаться следующих правил:

- установить в приборе электрохимические источники тока, если они не установлены;
- установить прибор в горизонтальное положение;
- установить корректором « O,? » указатель измерительного механизма прибора (стрелку) на метку механического нуля;
- включить автоматическую защиту прибора от перегрузок, нажав до упора кнопку «  »;
- проверка работоспособности встроенных в прибор источников тока и реле автоматической защиты осуществляется при помощи кнопки «  »;
- включить (после проверки) защиту, установить кнопку переключателя видов работы « ~ , - », r_x , h_{21E} , n-p-n, p-n-p в положение, соответствующее виду измерений величины;
- перед измерением сопротивлений в диапазоне « Ω » вращением ручки «O,?» установить стрелку прибора на отметку «*». Шкалы « Ω, h_{21E} », а в диапазонах « $K\Omega$ », « $K\Omega \times 10$ », « $K\Omega \times 100$ » и « $M\Omega$ » - на отметку «0» шкалы « $K\Omega, M\Omega$ », предварительно закоротив соединительными проводами гнездо « $K\Omega$ » и гнездо «V, mA, Ω , $k\Omega$, $M\Omega$ », для диапазонов « $K\Omega$ », « $K\Omega \times 10$ », « $K\Omega \times 100$ » или зажимы «ж» и «V, mA, $\Omega, K\Omega, M\Omega$ » - для диапазонов « $M\Omega$ ». После этого разомкнуть провода. В случае невозможности установки стрелки на указанные отметки, следует сменить источник тока;
- подключить прибор к объекту измерения по одной из схем рисунков 1- 4 и произвести отсчет результатов и произвести отсчёт результатов измерений по соответствующей шкале отсчётного устройства. При этом схема рисунок 3 используется в положении « Ω » и « $M\Omega$ » переключателя пределов.

Для измерения статистического коэффициента передачи тока транзистора h_{21E} необходимо:

- установить кнопку « r_x, h_{21E} » переключателя видов измерений в нижнее фиксированное положение, а кнопку «n-p-n, p-n-p» в положение соответствующее типу проводимости транзистора ;

- установить ручку переключателя диапазонов измерений в положение I_c (при измерении в диапазоне « h_{21E} ») или I_{C1} (при измерении в диапазоне « $h_{21E} \times 10$ »);
- подключить (в соответствии с маркировкой) выводы транзистора к одноименным гнездам прибора «E», «B», «C», «E»;
- вращением ручки «O, ?» установить стрелку прибора на отметку «*» шкалы « Ω, h_{21E} »;
- перевести ручку переключателя диапазонов измерений из положения « I_{C1} » в положение « $K\Omega \times 10, h_{21E}$ » или из положения « I_{C1} » в положение « $K\Omega; h_{21E} \times 10$ » и произвести отсчет результатов измерений по шкале « $\Omega; h_{21E}$ » отсчетного устройства.

Для измерений обратных токов транзистора необходимо:

- установить кнопку « $Zx; h_{21E}$ » переключателя видов измерений в нижнее фиксированное положение, а кнопку «p-n-p, n-p-n» в положение, соответствующее типу проводимости транзистора;
- повернуть по часовой стрелке до упора ручку «O, ?»;
- установить ручку переключателя диапазонов в положение «0,05 mA», подключить выводы транзистора к гнездам прибора в соответствии с рис. 6-9 в зависимости от измеряемого тока и произвести отсчет результатов измерений по шкале «-V, A» отсчетного устройства.

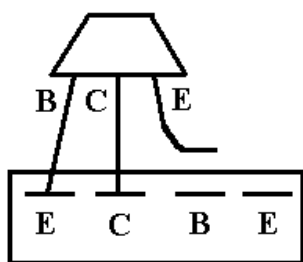


Рисунок 6 - Измерение тока I_{CBD}

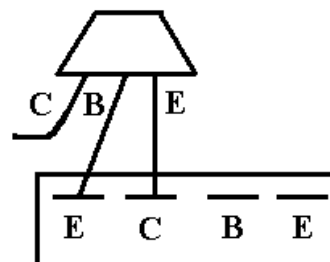


Рисунок 7 - Измерение тока I_{EBD}

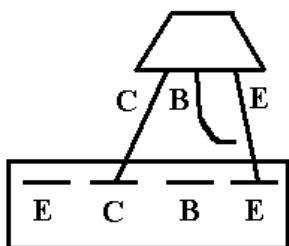


Рисунок 8 - Измерение тока I_{CED}

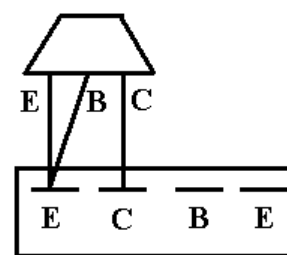



Рисунок 9 - Измерение тока I_{CES}

Внимание. Все измерения проводить при напряжении источника питания прибора в пределах (3,7-4,7)V;

По окончании работы (измерений) сопротивлений постоянному току в диапазоне « Ω » во избежании разряда источников тока, кнопку « h_{21E}, I_x » следует установить в верхнее фиксированное положение, нажав любую кнопку.

По окончании измерений следует включить защиту прибора, нажав кнопку «  ».

3.6 Осциллограф универсальный С1-101

3.1.6 Назначение

Универсальный осциллограф С 1-101 предназначен для исследования формы периодических сигналов путём визуального наблюдения и измерения амплитуды в диапазоне от 0,01 до 100 В и временных интервалов от $0,3 \cdot 10^{-6}$ до 0,4 (диапазон частот от 0 до 5 мГц).

3.1.7 Технические данные

Технические характеристики прибора приведены в техническом описании. Потребляемая мощность прибора 18 Вт.

3.1.8 Принцип действия прибора

Осциллограф содержит следующие основные функциональные узлы:

- осциллографический индикатор;
- аттенюатор вертикального входа;
- усилитель вертикального отклонения;
- селектор синхронизации;
- устройство синхронизации (усилитель синхронизации, формирователь синхроимпульсов, устройство автоматического выбора полярности синхронизации);
- устройство автоматического выбора работы генератора развёртки;
- триггер управления развёрткой;
- генератор пилообразного напряжения;
- усилитель развёртки;
- калибратор амплитуды и длительности;
- усилитель амплитуды;
- узел питания (блоки питания И.22.087.457, N.22.087.459 , делитель преобразователя);

Исследуемый сигнал подаётся на гнездо « $1\text{M}\Omega$, 40pF » канала вертикального отклонения. При помощи входного аттенюатора выбирают величины сигналов, удобные для наблюдения на экране осциллографа. Исследуемый сигнал усиливается усилителем вертикального отклонения луча, в котором находятся элементы для смещения луча по вертикали « \leftarrow » и калибровки « ∇Y ». Калибратор амплитуды и длительности служит для периодической проверки коэффициента отклонения вертикального входа и проверки калибровки длительности

развёртки. Устройство синхронизации усиливает исследуемый сигнал до необходимой величины и преобразует его в импульсы, запускающие генератор пилообразного напряжения, которым осуществляется временная развертка луча ЭЛТ. Устройство автоматического выбора полярности в зависимости от исследуемого сигнала автоматически меняет полярность синхронизации.

Генератор развертки может работать как в автоматическом, так и в ждущем режиме. Выбор режима производится с помощью устройства автоматического выбора режима работы генератора.

Устройство блокировки обеспечивает работу генератора развертки в автоматическом режиме, а также предупреждает повторный запуск при обратном ходе развертки.

Усилители развертки усиливают пилообразное напряжение до величины, необходимой при нормальной работе ЭЛТ.

С триггера управлений разверткой прямоугольные импульсы подаются на Усилитель Z и далее на блокирующие пластины ЭЛТ для гашения обратного хода развертки.


Узел питания обеспечивает всю схему необходимыми питающими напряжениями.

3.1.9 Описание органов управления

- ручкой ● регулируется яркость изображения;
- ручкой □ регулируется чёткость(фокус) изображения;
- ручкой ⇔ регулируется астигматизм;
- ручкой «УСТАНОВКА ЛИНИИ ЛУЧА» совмещается линия развёртки с горизонтальной осью шкалы ЭЛТ;
- переключателем «Y/ДЕЛ» устанавливаются калиброванные коэффициенты отклонения канала усилителя « Y »;
- ручкой « ↑ » регулируется положение луча по вертикали;
- переключателем режима работы в положении « ~ » обеспечивается подача сигнала на вход вертикального отклонения через разделительный конденсатор, в положении « ⊥ » обеспечивается отключение входа усилителя от источника исследуемого напряжения, а в положении « -, ~ » обеспечивается подача исследуемого сигнала с постоянной составляющей (открытый вход);
- на разъём «1MΩ,40pF»(с правой стороны прибора) подаётся исследуемый сигнал;
- через отверстие под отвёртку в верхней крышке прибора « ▼ Y » осуществляется калибровка коэффициента отклонения;
- ручкой «УРОВЕНЬ» выбирается уровень исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развёртки;
- переключателем синхронизации в положении «ВНУТР» обеспечивается синхронизация исследуемым сигналом усилителя вертикального отклонения, а в положении «ВНЕШН» обеспечивается синхронизация внешним сигналом;

- переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ» устанавливается коэффициент развёрток;
- потенциометром « → » перемещается луч по горизонтали;
- тумблером «ПИТАНИЕ» включается и выключается прибор.

Кроме того на правой боковой стенке прибора расположены:

- гнездо « ⊥ » - корпус прибора;
- разъём «  » выход пилообразного напряжения;
- разъём « П/V, 1kHz » выход калибратора;
- разъём « ВНЕШН 1:1 » подачи сигнала внешней синхронизации без ослабления;
- разъём « ВНЕШН 1:10 » подачи сигнала внешней синхронизации с 10-кратным ослаблением.

На задней панели прибора расположены:

- разъём штепсельный 12В для подсоединения кабелей И24.864.060 ; И24.864.060.01; И24.864.060-02.И24.853.482;
- держатель предохранителя «IA»;
- тумблер «220В, 50 HZ, 400HZ-115V, 400HZ» для переключения напряжения питания;
- клемма «⊥» для заземления корпуса прибора.

На нижней крышке находится отверстие « ▼ X » для калибровки коэффициентов развёртки.

3.1.10 Включение прибора и проверка работоспособности

Установить ручки органов управления в следующем положении

- « ● » - в крайнее левое;
- « □ » - в среднее;
- « V/ДЕЛ » - в положение « 0,01 »;
- « - ~, ⊥, » - в положение « ⊥ »;
- « ↑ » - в среднее;
- « ВРЕМЯ/ДЕЛ » - в положение « 1ms »;
- « ВНУТР, ВНЕШН » - в положение « ВНУТР »;
- « УРОВЕНЬ » - влево и вправо на 45-50° от среднего (нулевого) положений;
- « → » - в среднее положение.

При питании от сети используется блок питания и 22.087.459, разъём х2 которого подключается к разъёму х8 (И22.044.09Э.3) на задней стенке прибора. Тумблер «220V 50HZ, 400HZ- 115V, 400HZ» блока питания установить в первое положение, а корпусную клемму « ⊥ » подключить к контуру защитного заземления.

Включить тумблер «ПИТАНИЕ» на передней панели прибора. При этом должна загореться сигнальная лампочка. После прогрева (5мин) ручкой « ● » установить яркость изображения удобную для наблюдения. Ручкой « ↑ » совместить линию развёртки с центром экрана. Ручкой « □ » установить одинаковую

четкость изображения по всей линии луча. Установить переключатель «V/ДЕЛ» в положение « ∇ 5 ДЕЛ». Установить поворотом ручки «УРОВЕНЬ» устойчивое изображение на экране ЭЛТ. Поворотом ручки « \rightarrow » до упора убедиться в перемещении изображения по горизонтали. Установить переключатель «V/ДЕЛ» в положение «0,2», а переключатель « $\sim \perp$ » в положение « \sim ». Соединить с помощью кабеля вход «1M Ω ,40pF» с выходом калибратора «1V,1kHz». Величина изображения импульсов должна составлять 5 делений шкалы экрана.

Установить переключатель развёртки в положение «1ms» поворотом ручки « \rightarrow » совместить начало первого периода сигнала с первой вертикальной линией экрана ЭЛТ. На всей длине экрана (8делений) должно поместиться 8 периодов.

3.1.11 Проведение измерений

Для проведения измерений выполните следующие операции:

- а) подайте сигнал на гнездо « \ominus 1M Ω 40pF»;
- б) установите переключатель «V/ДЕЛ» в такое положение, чтобы амплитуда изображения составила около пяти делений;
- в) установите переключатель « \approx , \perp , \sim » в положение « \sim »;

Примечание. Для НЧ сигналов частотой ниже 50 Гц рекомендуется использовать положение « \approx »;

- г) ручкой «УРОВЕНЬ» установите устойчивое напряжение. Установите переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» в положении, при котором наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;

- д) установите ручку « \updownarrow » вертикального перемещения так, чтобы минимальный уровень сигнала совпадал с одной из нижних линий, а максимальный - находился в пределах экрана. Ручкой « \leftrightarrow » горизонтального перемещения сместите изображение таким образом, чтобы один из верхних пиков находился на вертикальной средней линии шкалы (рисунок 10);

Максимум расположен на градуированной вертикальной линии.

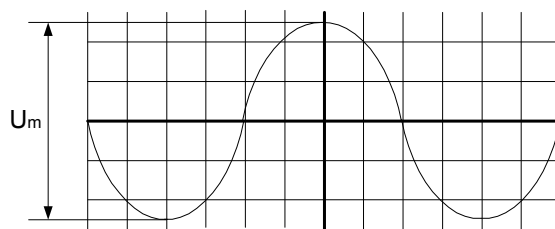


Рисунок 10 - Измерение полного размаха переменного напряжения

е) измерьте деления между крайними точками размаха амплитуды вертикального отклонения.

Примечание. Этот метод может быть использован не только для определения напряжения между пиками, но и между двумя любыми точками сигнала;

ж) умножьте расстояние, измеренное в подпункте

е), на показание переключателя «V/ДЕЛ».

Пример. Предположим, что размах вертикального отклонения составляет 6,6 деления, используя делитель 1:10, переключатель «V/ДЕЛ» установлен в положение «0,5».

Напряжение амплитуды составляет:

$$5,6 \text{ дел} \times 0,5 \text{ В/дел} \times 10 = 28 \text{ В}$$

Для измерения мгновенного значения сигнала с постоянной составляющей выполните следующие операции:

а) поставьте переключатель «ВНУТР. ВНЕШН» в положение «ВНУТР»;

б) расположите линию развертки ниже средней линии сетки или другой контрольной линии. Если напряжение отрицательно относительно «ЗЕМЛИ», переместите луч к верхней линии шкалы. Не следует перемещать ручку « \updownarrow » после установки контрольной линии;

в) подайте сигнал на входной разъем « \ominus 1M Ω 40pF»;

г) установите переключателем «V/ДЕЛ» импульс равный по амплитуде 3 - 5 делений шкалы.

Примечание. Для измерения уровня напряжения относительно другого напряжения, а не корпуса, сделайте следующее:

установите переключатель « \approx , \perp , \sim » в положение « \approx », подайте опорное напряжение на гнездо « \ominus 1M Ω 40pF» усилителя и расположите линию развертки на контрольной линии;

установите ручкой «УРОВЕНЬ» устойчивое изображение. Переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» установите в положение, при котором на экране наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;

д) определите расстояние в делениях между контрольной линией и точкой на линии сигнала, в которой нужно измерить напряжение.

Например, измерение производится между контрольной линией и точкой А (рисунок 11);

ж) умножьте полученный размер в делениях на коэффициент отклонения. Следует также учитывать коэффициент ослабления выносного делителя, если он используется.

Пример. Допустим, что измеренное расстояние составляет 3 деления (рисунок 11), сигнал положительной полярности (изображение находится выше контрольной линии). Переключатель «V/ДЕЛ» находится в положении «2». При измерении используется делитель напряжения 1 : 10.

Измеренное мгновенное значение напряжения будет:

$$2 \text{ В} \times 3 \times 10^{-6} \text{ В}$$

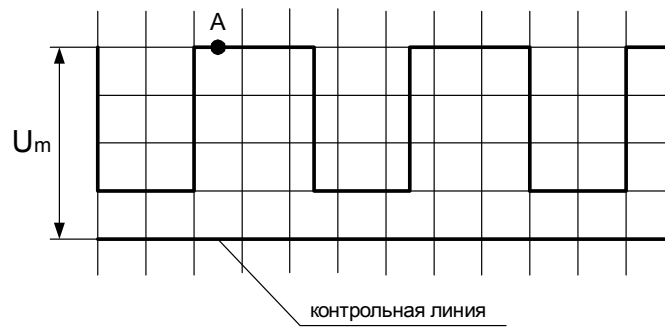


Рисунок 11- Измерение переменного напряжения с постоянной составляющей

Для измерения длительности сигнала между двумя его точками произведите следующие операции:

- подайте исследуемый сигнал на гнездо с « \ominus 1M Ω 40pF»;
- установите переключатель «V/ДЕЛ» в такое положение, чтобы изображение на экране составляло около 3 - 5 делений по амплитуде;
- установите переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» в такое положение, при котором расстояние между измеряемыми точками будет меньше 8 делений;
- установите ручкой «УРОВЕНЬ» устойчивое изображение на экране ЭЛТ;
- переместите ручкой « \updownarrow » изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились на горизонтальной линии;
- установите ручкой « \leftrightarrow » изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились в пределах восьми центральных делений сетки;
- измерьте горизонтальное расстояние между измеренными точками;
- умножьте расстояние, измеренное в подпункте ж), на коэффициент развертки.

Пример. Допустим, что расстояние между измеренными точками А и В составляет 6 дел. (рисунок 12), а переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» установлен в положение «0,2 ms».

Время $T = 0,2\text{ms} \cdot 6 = 1,2\text{ms}$.

Для измерения частоты периодических сигналов сделайте следующее:

- измерьте длительность времени одного периода сигнала (рисунок 11);
- рассчитайте частоту сигнала f_c по формуле: $f_c = 1/T$, где f_c — частота, Гц, T — длительность периода, с.

Пример. Частота сигнала с длительностью периода 1,2 ms будет равна:
 $f_c = 1/1,2 \cdot 10^{-3} = 833 \text{ Гц}$

Измерение времени нарастания основано на том же методе, что и измерение длительности времени. Основная разница только в точках, между которыми производится измерение. Ниже приводится методика измерения времени нарастания между точками импульса на уровне 0,1 и 0,9.

Измерение времени нарастания основано на том же методе, что и измерение длительности времени. Основная разница только в точках, между кото-

рыми производится измерение. Ниже приводится методика измерения времени нарастания между точками импульса на уровне 0,1 и 0,9.

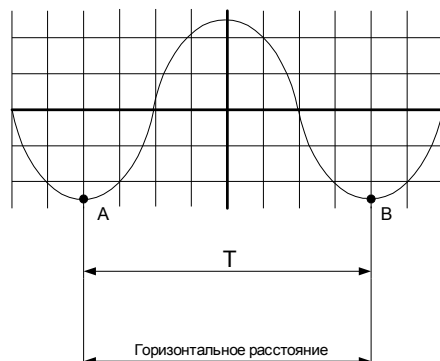


Рисунок 12- Измерение длительности и частоты

Время спада можно измерить аналогичным образом на заднем фронте импульса:

- а) подайте сигнал на гнездо « \ominus 1M Ω 40pF»;
- б) установите переключателем «V/ДЕЛ» максимально возможное изображение сигнала по амплитуде;
- в) установите изображение симметрично средней горизонтальной линии,
- г) установите переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» на наибольшую скорость развертки, при которой изображение между точками импульса на уровнях 0,1 и 0,9 будет занимать не более 8 дел. по горизонтали;
- д) определите точки уровней 0,1 и 0,9 на нарастающей части импульса.
- е) ручкой « \leftrightarrow » совместите точку уровня 0,1 с одной из вертикальных линий шкалы экрана ЭЛТ в левой части экрана (рисунок 12).

3.1.12 Проведение измерений

Методика проведения измерений исследуемого сигнала приведена в техническом описании.

4 Подготовка стенда к работе и порядок работы

- Установить стенд на рабочее место, открыть крышку и зафиксировать ее с помощью ограничителей;
- подключить корпусную клемму стенда (на задней стенке футляра) к контуру защитного заземления. Шнур питания подключить к разъему «сеть»;
- включить тумблер «СЕТЬ» блока питания и проверить напряжение источников питания вольтметром М 903/4.

Включить тумблер «ГС. ВКЛ» и подключив к гнездам « U_m » осциллограф, проверить наличие всех видов выходных сигналов на одной из частот в поло-

жении «Х1» переключателя «V». Выключить генератор сигналов ГС тумблером и включить тумблер «4 ГТН ВКЛ». С помощью осциллографа проверить напряжение между фазами АВС и нулём, а также между фазами АВ, ВС, СА. Включить «ГТН ВКЛ» и «СЕТЬ».

Собрать на монтажной панели из имеющегося набора радиодеталей схему, соединив их, измерительные приборы и клеммы блока питания по схеме, приведены в описании выполняемой лабораторной работы с помощью проводников и перемычек. Включить питание стенда, установить необходимые напряжения на входах исследуемой схемы и вычислить необходимые измерения по лабораторному заданию.

После измерения выключить питание стенда, приборов, разобрать схему.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИХ И ИНТЕГРИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Цель работы:

– умение правильно выбирать параметры линейных электрических цепей в зависимости от конкретного назначения для заданных параметров воздействующих на них сигналов;

– исследовать прохождение через дифференцирующие и интегрирующие цепи гармонических и импульсных сигналов.

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Дифференцирующие цепи. Рассмотрим схему линейного четырехполюсника в виде последовательной RC–цепи, на входе которой действует напряжение $u_{вх}(t)$, а выходное напряжение $u_{вых}(t)$ снимается с резистора R (рисунок 1, а). Выясним, при каких условиях данная цепь будет дифференцировать входной сигнал.

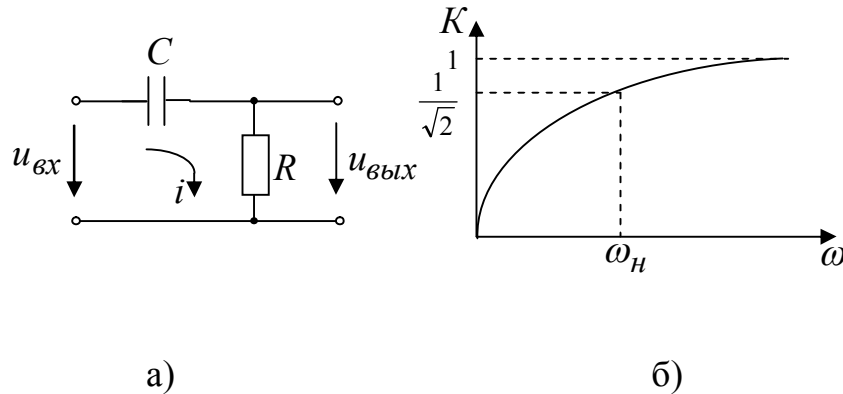


Рисунок 1 – Дифференцирующая цепь:
а) – схема; б) – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

Воспользовавшись вторым уравнением Кирхгофа, запишем напряжение для всей линейной цепи:

$$u_{вх}(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt + u_{вых}(t), \quad (1.1)$$

где $i(t)$ – мгновенное значение тока.

Продифференцируем по времени обе части этого соотношения:

$$\frac{d u_{\text{вх}}(t)}{dt} = \frac{I}{C} i(t) + \frac{d u_{\text{вых}}(t)}{dt} \quad (1.2)$$

Умножив и поделив первое слагаемое в правой части на R и учитывая, что $u_{\text{вых}}(t) = i(t)R$, получим:

$$u_{\text{вых}}(t) + \tau_a \frac{d u_{\text{вых}}(t)}{dt} = \tau_a \frac{d u_{\text{вх}}(t)}{dt}. \quad (1.3)$$

здесь параметр $\tau_a = RC$ – постоянная времени цепи.

Если постоянная времени τ_a настолько мала, что

$$u_{\text{вых}}(t) \gg \tau_a \frac{d u_{\text{вых}}(t)}{dt}, \quad (1.4)$$

то выражение (1.3) примет вид

$$u_{\text{вых}}(t) \approx \tau_a \frac{d u_{\text{вх}}(t)}{dt}. \quad (1.5)$$

Итак, данная RC–цепь, при соблюдении неравенства (1.4) может осуществлять линейную операцию дифференцирования входного сигнала.

Чтобы определить частотный коэффициент передачи дифференцирующей цепи, запишем комплексную амплитуду тока:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{\text{вх}}}{R + 1/(j\omega C)}.$$

Выразив комплексную амплитуду выходного напряжения через ток $\dot{U}_{\text{вых}} = \dot{I} R$, находим частотный коэффициент передачи:

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{\dot{I} R}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{R}{R + 1/(j\omega C)} = \frac{j\omega\tau_a}{1 + j\omega\tau_a}. \quad (1.6)$$

Вычислим модуль частотного коэффициента передачи, определяем АЧХ дифференцирующей цепи:

$$K(\omega) = |K(\omega)| = \frac{I}{\sqrt{1 + \frac{I}{(\omega\tau_a)^2}}}. \quad (1.7)$$

Из графика АЧХ (рисунок 1, б) следует, что полоса пропускания дифференцирующей цепи ограничена только со стороны нижних частот. Приняв правую

часть формулы (1.7) к значению $1/\sqrt{2}$ вычислим нижнюю частоту полосы пропускания

$$\omega_H = 1/\tau_a. \quad (1.8)$$

Проанализируем прохождение импульсных сигналов через дифференцирующую цепь, подав на ее вход напряжение в виде прямоугольного видеоимпульса с амплитудой E и длительностью τ_H (рисунок 2, а).

В радиоэлектронике верхнюю частоту спектральной плотности такого импульса принято приближенно ограничивать значением $\omega_H = 2\pi/\tau_H$. Тогда условия для частот $\omega_H > \omega_H$ можно записать в виде $\tau_a \ll \tau_H/(2\pi)$, или как $\tau_a \ll \tau_H$. На рисунке 2, б) показаны графики входного напряжения при различных отношениях постоянной времени τ_a и длительностью входного импульса τ_H .

Из графических построений (рисунок 2, б) нетрудно заметить, что при значениях $\frac{\tau_a}{\tau_H} = 10$ форма выходного напряжения и входного импульса практически совпадают. С уменьшением отношения τ_a/τ_H увеличиваются завал вершины выходного импульса и его отрицательный выброс при $t > \tau_H$.

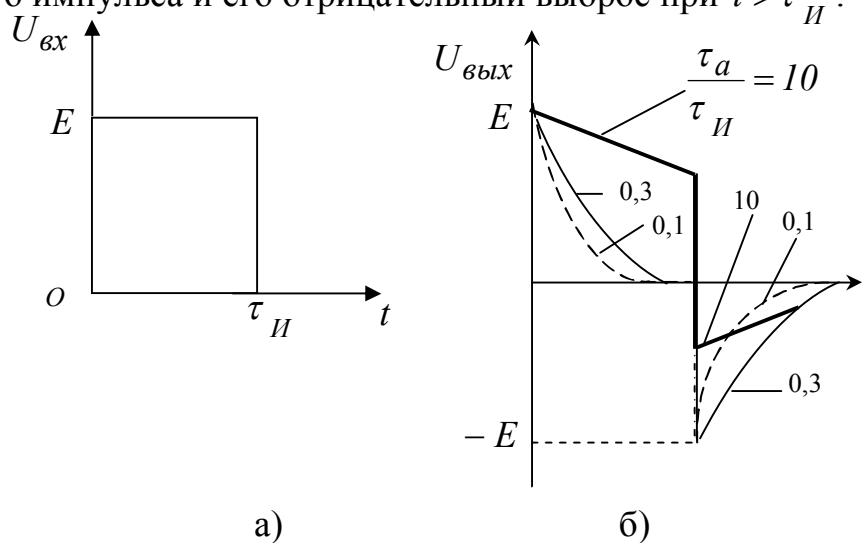


Рисунок 2 – Операция дифференцирования
а) входной сигнал; б) выходной сигнал

При малых значениях отношения τ_a/τ_H форма выходного напряжения представляет собой два разнополярных остроконечных импульса. Считается, что при отношении постоянной времени и длительности $\tau_a/\tau_H < 0,1$, такая RC-цепь полностью дифференцирует входной импульс.

Отметим, что в радиоэлектронике при больших значениях отношения τ_a / τ_{II} RC-цепь применяется как разделительная, разделяющая цепи переменного и постоянного токов, а при малых τ_a / τ_{II} – как дифференцирующая.

Интегрирующие цепи. Рассмотрим RC-цепь, у которой выходной сигнал снимается с емкости C (рисунок 3, а). Определим условия, при котором эта цепь может интегрировать входной сигнал.

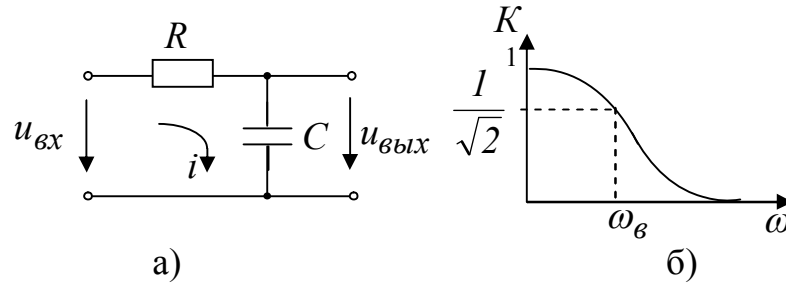


Рисунок 3 – Интегрирующая цепь:
а) – схема, б) – амплитудно-частотная характеристика

Используя аналогию с формулой (1.1), запишем

$$u_{вх}(t) = \tau_a \frac{du_{вых}(t)}{dt} + u_{вых}(t) \quad (1.9)$$

Пусть постоянная времени настолько велика, что

$$\tau_a \frac{d u_{вых}(t)}{dt} \gg u_{вых}(t),$$

тогда $u_{вх}(t) \approx \tau_a \frac{d u_{вых}(t)}{dt}$.

Интегрирование последнего выражения дает:

$$u_{вых}(t) = \frac{1}{\tau_a} \int_{-\infty}^t u_{вх}(t) dt. \quad (1.10)$$

Итак, RC-цепь с достаточно большой постоянной времени τ_a выполняет операцию интегрирования входного сигнала.

Определим частотный коэффициент передачи интегрирующей цепи. Для этого предварительно запишем комплексную амплитуду тока через комплексное входное напряжение:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{ex}}{R + 1/(j\omega C)}.$$

Поскольку $\dot{U}_{вых} = \dot{I}/(j\omega C)$, то воспользовавшись последним выражением, запишем:

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{U}_{вых}}{\dot{U}_{ex}} = \frac{\dot{I}/(j\omega C)}{\dot{U}_{ex}} = \frac{\dot{U}_{ex}/(j\omega C)}{\dot{U}_{ex}[R + 1/(j\omega C)]} = \frac{1}{1 + j\omega\tau_a} \quad (1.11)$$

Вычислив модель данного частотного коэффициента передачи, находим АЧХ интегрирующей цепи (рисунок 3, б):

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau_a)^2}} \quad (1.12)$$

Приравняв правую часть формулы (1.12) к $1/\sqrt{2}$, можно определить верхнюю граничную частоту полосы пропускания интегрирующей цепи.

$$\omega_B = 1/\tau_a$$

Как следует из рисунка 3, б) интегрирующие цепи не пропускают высокочастотные составляющие спектров входных сигналов, поэтому в радиоэлектронных устройствах их используют в качестве так называемых сглаживающих или низкочастотных фильтров. При подачи на вход рассматриваемой RC-цепи импульсных сигналов форма выходного напряжения будет существенным образом зависеть от отношений τ_a/τ_H .

На графиках рисунке 4, а), б) показаны соответственно входной сигнал в виде прямоугольного импульса напряжения и отклики RC-цепи на него при различных значениях отношения постоянной времени и длительности входного импульса τ_a/τ_H . При значениях отношения $\tau_a/\tau_H = 0,1$ форма выходного сигнала близка к форме входного импульса. Считается, что выходной импульс практически совпадает по форме с входным при $\tau_a/\tau_H = 0,03$, с увеличением отношения τ_a/τ_H до 0,5 и более выходное напряжение не успевает возрасти до амплитудного значения E и форма выходного сигнала существенно искажается.

Интегрирующие цепи широко применяются в так называемых генераторах пилообразных токов и напряжений.

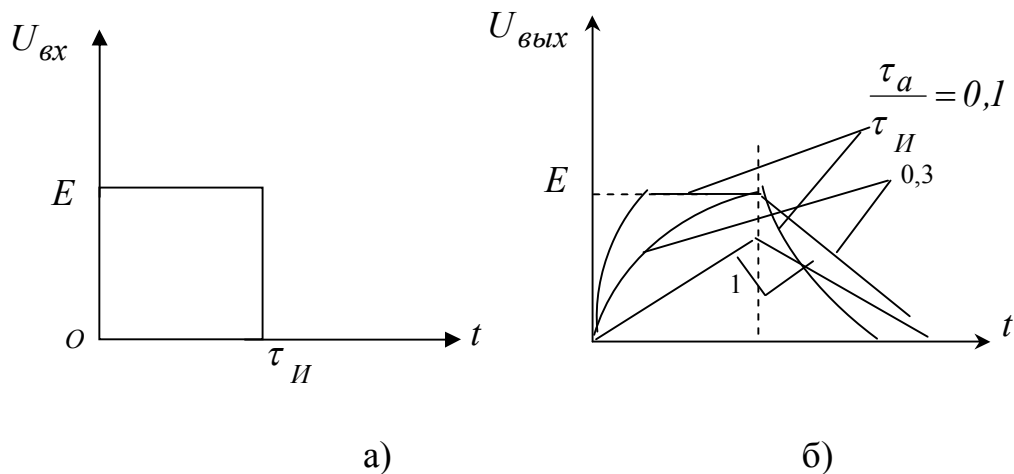


Рисунок 4 – Операция интегрирования

Лабораторная работа

1 Исследование дифференцирующей цепи:

– для дифференцирующей цепи рассчитайте постоянную времени $\tau_a = RC$.
 Для расчета взять значения резистора $R = 10 \text{ кОм}$, конденсатора $C = 0,22 \text{ мкФ}$;

– вычислить нижнюю граничную частоту $f_H = 1/(2\pi\tau_a)$;

– вычислить модуль коэффициента передачи для частоты f_H по формуле

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega\tau_a)^2}}};$$

– вычислите из значений $\frac{\tau_a}{\tau_И} = 10; 0,3; 0,1$ значения длительности импульса $\tau_И$, а затем значения частот;

– соберите схему электрической цепи рисунка 3;

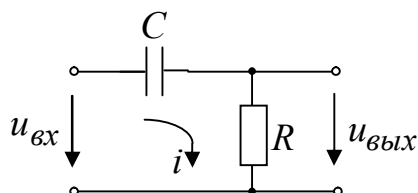


Рисунок 3 – Дифференцирующая RC-цепь, где: резистор $R = 10 \text{ кОм}$; конденсатор $C = 0,22 \text{ мкФ}$

- при постоянной амплитуде входного напряжения импульсного сигнала $U_{вх}$ равного $0,5 В$ на входе RC–цепи измерьте выходное напряжение $U_{вых}$ на частотах $0,2; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10 кГц$. Данные измерений занесите в таблицу 1. Запишите для каждого значения частоты формы выходных сигналов;
- рассчитайте частотный коэффициент передачи:

$$K(\omega) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega\tau_a)^2}}};$$

- по полученным данным постройте амплитудно–частотную характеристику.

Таблица 1

$f, кГц$	0,2	0,5	1	2	3	5	10
$U_{вх}, В$							
$U_{вых}, В$							

2 Исследование интегрирующей цепи:

- рассчитайте для интегрирующей цепи постоянную времени $\tau_a = RC$. Для расчета взять значения резистора $R = 10 кОм$, конденсатора $C = 0,22 мкФ$;

- вычислить верхнюю граничную частоту $f_B = 1/(2\pi\tau_a)$;
- вычислить модуль коэффициента передачи для частоты f_B по формуле

$$K(\omega) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau_a)^2}};$$

- вычислить из значений $\frac{\tau_a}{\tau_{И}} = 0,1; 0,3; 1$ значения длительности импульса $\tau_{И}$, а затем значения частот;
- собрать схему электрической цепи рисунка 4;

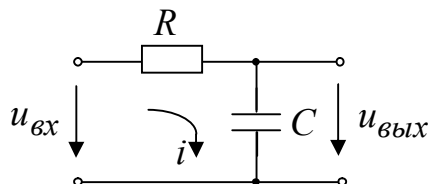


Рисунок 4 – Интегрирующая RC–цепь, где: резистор $R = 10 кОм$; конденсатор $C = 0,22 мкФ$

- при постоянной амплитуде входного напряжения импульсного сигнала $U_{вх}$ равного $0,5 В$ на входе RC–цепи измерьте выходное напряжение $U_{вых}$ на

частотах 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10 кГц; Данные измерений занесите в таблицу 2. Запишите для каждого значения частоты формы выходных сигналов;

– рассчитайте частотный коэффициент передачи:

$$K(\omega) = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau_a)^2}}$$

– по полученным данным постройте амплитудно–частотную характеристику.

Таблица 2

$f, \text{кГц}$	0,2	0,5	1	2	3	5	10
$U_{вх}, \text{В}$							
$U_{вых}, \text{В}$							

Контрольные вопросы

- 1 Какие электрические цепи называют линейными?
- 2 Что такое четырехполюсник?
- 3 Какие четырехполюсники называют линейными?
- 4 Какие электрические цепи называют дифференцирующими?
- 5 Запишите уравнения электрического состояния для дифференцирующей цепи?
- 6 При каких условиях RC–цепь может осуществлять линейную операцию дифференцирования входного сигнала.
- 7 Запишите частотный коэффициент передачи дифференцирующей цепи?
- 8 Какие возможности применения дифференцирующих цепей вы знаете?
- 9 Какие электрические цепи называют интегрирующими?
- 10 При каких условиях RC–цепь может осуществлять линейную операцию интегрирования входного сигнала.
- 7 Запишите частотный коэффициент передачи интегрирующей цепи?
- 8 Какие возможности применения интегрирующих цепей вы знаете?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Цель работы: Изучение принципов работы и методов расчета электрических фильтров типа κ . Экспериментальное исследование нижних, верхних, полосового и заграждающего RC -фильтров.

Материалы и оборудование: генератор сигналов (ГС), цифровой мультиметр DT-58, осциллограф, электронный коммутатор, панель монтажная, набор резисторов, конденсаторов, индуктивностей, набор проводов со штекерами.

СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Чем выше добротность контура, тем уже его полоса пропускания и острее резонансная кривая. Острота резонансной кривой характеризует частотную избирательность колебательного контура, т.е. способность пропускать или задерживать электрические колебания только определенной частоты – резонансной или близко к ней. [1]

В различных электротехнических устройствах между источником энергии и приемником включают электрические фильтры в виде четырехполюсников или цепных схем, чтобы пропускать к приемнику только токи заданного диапазона частоты. Цепные схемы состоят из каскадно-включенных четырехполюсников, называемых звеньями. При этом выходные схемы каждого предыдущего звена соединяются с входными схемами последующего.

Электрический фильтр – пассивный четырехполюсник, пропускающий некоторую определенную полосу частот с малым затуханием, вне этой полосы частот затухание велико.

Полоса частот, при которых затухание мало называется полосой пропускания фильтра. Остальную область частот называют полосой задерживания или затухания.

Электрические фильтры классифицируются по:

- пропускаемым частотам: НЧ, ВЧ, полосные, заграждающие;
- схемам звеньев: Г, Т, П-образные, мостовые и т.п.;
- характеристикам: простейшие типа κ , более высокого класса типа m ;
- типам элементов: реактивные (L и C), пьезоэлектрические (кварцевые пластины), безиндуктивные (R и C) и др.

Условием пропускания реактивного фильтра является наименьшее число элементов равное 2, т.е. это Г-образные фильтры.

Для обратимого четырехполюсника справедливо $g = a + jb$, где g – коэффициент передачи или мера передачи (постоянная распространения), a – собственное затухание четырехполюсника, b – коэффициент фазы.

Фильтры обычно собирают по симметричной Т и П-образной схеме, которые в дальнейшем можно представить как комбинацию из Г-образных фильтров (рисунок 1).

В случае симметричного Т и П-образного фильтра коэффициент передачи A определяется

$$\underline{A} = chg = \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_2}; \quad sh \frac{g}{2} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_1}{4\underline{Z}_2}}.$$

Полосой пропускания реактивного фильтра является область частот, при которой собственное затухание реактивного фильтра равно нулю ($a = 0$).

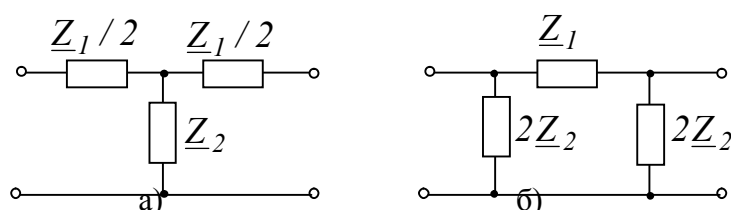


Рисунок 1 – Принципиальные схемы Т (а) и П (б) - образных фильтров

Для любого симметричного реактивного фильтра в полосе пропускания, т.е. при $a = 0$:

$$A(\omega) = chg = ch(a + jb) = ch(jb) = \cos b.$$

Частота, являющаяся граничной между полосой прозрачности и полосой затухания, называется частотой среза.

Характер изменения угла b для зоны прозрачности $b = \arccos A(\omega)$.

В полосе затухания $a > 0$, $b = 0$, т.е. при $b = 0$ и при $b = \pm \pi$. При $b = 0$, $ch a = A(\omega)$, а при $b = \pm \pi$, $ch a = -A(\omega)$.

С изменением частоты ω изменяются коэффициенты B и C четырехполюсника, поэтому меняется характеристическое сопротивление

$$Z_c = \sqrt{\frac{B}{C}}.$$

Для того, чтобы фильтр работал на согласованную нагрузку, при изменении частоты нужно изменять и сопротивление нагрузки.

В полосе прозрачности характеристическое сопротивление фильтра всегда активное, а в полосе затухания – чисто реактивное.

Фильтры, в которых произведение продольного сопротивления на соответствующее поперечное сопротивление представляет собой некоторое постоянное для данного фильтра число k , не зависящее от частоты, называют фильтрами типа k . Фильтры, в которых это произведение зависит от частоты, называются фильтрами типа m .

Во избежание получения громоздких фильтров с низкой добротностью катушек применяют безындукционные фильтры (RC), состоящие из активных сопротивлений и емкостей. RC -фильтры также используют в случае когда сопротивление нагрузки, на которую включен фильтр, очень велико, т. е. теоретически стремятся к бесконечности. На рисунке 2 показан RC -фильтра нижних частот (ФНЧ) и его векторная диаграмма.

При низких частотах, когда емкостное сопротивление велико, напряжение на выходе фильтра немного меньше напряжения на его входе и, следовательно, затухание мало. С повышением частоты емкостное сопротивление убывает, напряжение на выходе уменьшается и, следовательно, затухание возрастает.

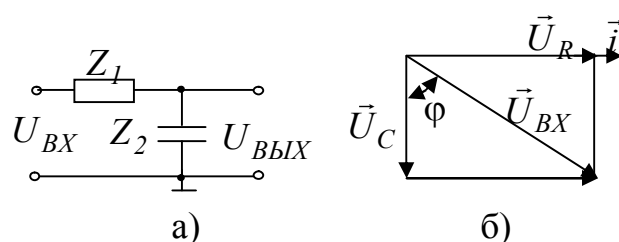


Рисунок 2 – Принципиальная схема RC - фильтра нижних частот (ФНЧ) и его векторная диаграмма

Комплексный коэффициент передачи напряжения такого фильтра при $\underline{Z}_1 = R$ и $\underline{Z}_2 = 1/j\omega C$ можно представить в виде

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_{BЫX}}{\dot{U}_{BХ}} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + (\omega RC)^2} - j \frac{\omega RC}{1 + (\omega RC)^2} = a + jb \quad (5.1)$$

При этом модуль коэффициента передачи выражения (5.1) или другими словами амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра будет иметь вид

$$K = \sqrt{a^2 + b^2} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}, \quad (5.2)$$

где $\tau = RC$ – постоянная времени фильтра.

Фазовый сдвиг между напряжением на выходе и входным напряжением или фазочастотная характеристика (ФЧХ) фильтра определяется выражением

$$\varphi = \arctg \frac{b}{a} = \arctg(-\omega RC) = \arctg(-2\pi f RC) = \arctg(-2\pi f \tau) . \quad (5.3)$$

Граничная частота (частота среза) определяется по уровню, при котором модуль коэффициента передачи K уменьшается в $1/\sqrt{2}$ раз от своего максимального значения. С учетом сказанного выражение (5.2) дает для граничной частоты

$$\omega_C = \frac{1}{RC} \text{ или } f_C = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau}. \quad (5.4)$$

Для RC -фильтров не наблюдается резкого перехода от полосы прозрачности к полосе задержки.

Принципиальная схема RC -фильтра верхних частот (ФВЧ) и его векторная диаграмма приведены на рисунке 3.

При низких частотах, когда емкостное сопротивление велико, напряжение на выходе фильтра мало, т. е. получается большое затухание. С увеличением частоты емкостное сопротивление уменьшается, и напряжение на выходе возрастает, т. е. затухание убывает.

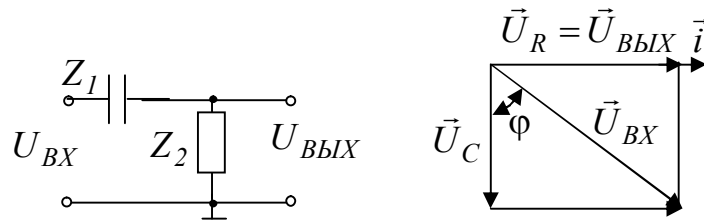


Рисунок 3 – Принципиальная схема RC -фильтра верхних частот (ФВЧ) и его векторная диаграмма

Комплексный коэффициент передачи ФВЧ по напряжению $\underline{Z}_1 = 1/j\omega C$ и $\underline{Z}_2 = R$ имеет вид

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_{BYIX}}{\dot{U}_{BX}} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = \frac{(\omega RC)^2}{1 + (\omega RC)^2} + j \frac{\omega RC}{1 + (\omega RC)^2}. \quad (5.5)$$

АЧХ и ФЧХ такого фильтра, как следует из соотношения (5.5), выражаются формулами

$$K = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{2\pi f RC}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}}. \quad (5.6)$$

$$\varphi = \arctg \frac{1}{\omega RC} = \arctg \frac{1}{2\pi f RC}. \quad (5.7)$$

Граничная частота RC -фильтра верхних частот определяется аналогично граничной частоте фильтра нижних частот

$$\omega_C = \frac{1}{RC} \text{ или } f_C = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau}.$$

Полосовой RC -фильтр может быть образован путем последовательности соединения RC -фильтров нижних и верхних частот (рисунок 4, а). Векторная диаграмма такого фильтра показана на рисунке 4, б.

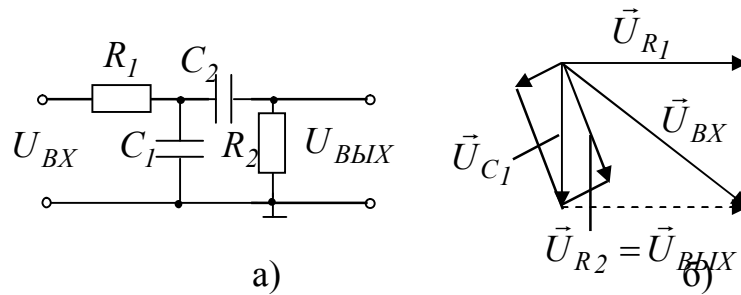


Рисунок 4 – Принципиальная схема полосового RC -фильтра (а) и его векторная диаграмма (б)

В полосовом фильтре первое звено (ФНЧ) не пропускает колебаний высоких частот, а второе звено (ФВЧ) не пропускает колебаний низких частот. Где-то в области перехода от полосы прозрачности к полосе задержки обоих звеньев и лежит максимальное значение коэффициента передачи фильтра.

Выражение для коэффициента передачи по напряжению для полосового фильтра при $R_1 = R_2 = R$ и $C_1 = C_2 = C$ имеет вид

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_{BЫХ}}{\dot{U}_{BХ}} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}. \quad (5.8)$$

Из соотношения (5.8) для модуля коэффициента передачи (АЧХ) полосового фильтра следует

$$K = \frac{1}{\sqrt{9 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}}. \quad (5.9)$$

Максимальная величина модуля коэффициента передачи выражения (5.9) наблюдается при $\omega_P RC - \frac{1}{\omega_P RC} = 0$ и принимает значение

$$K_P = 1/3. \quad (5.10)$$

АЧХ полосового фильтра напоминает резонансную кривую колебательного контура. Поэтому, соответствующую частоту называют квазирезонансной. Ее значение может быть получено из выражения (5.9) с учетом соотношения (5.10)

$$\omega_P = \frac{1}{RC} \text{ или } f_P = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau}. \quad (5.11)$$

Заграждающий RC -фильтр часто называют двойным Т-образным мостом. Он представляет собой параллельное соединение Т-образных фильтров верхних и нижних частот (рисунок 5, а).

Качественно работу заграждающего фильтра можно объяснить, перерисовав схему более наглядно, как показано на рисунке 5, б.

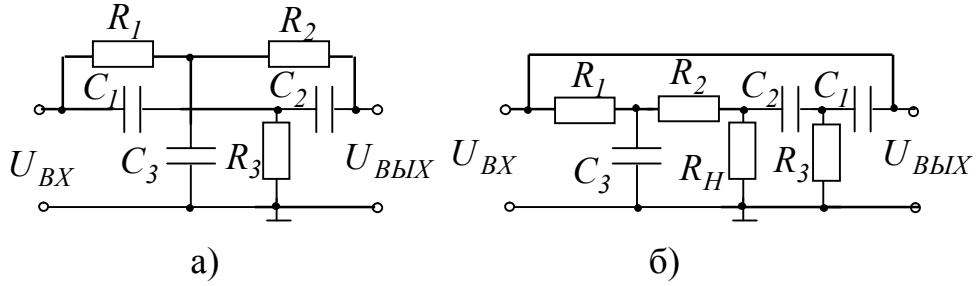


Рисунок 5 – Принципиальная схема заграждающего RC-фильтра

В данном случае считается, что сопротивление нагрузки R_H не влияет на работу фильтра, т. е. R_H имеет достаточно большую величину. Слева и справа подведено переменное входное напряжение от одного и того же источника сигнала. В этом случае можно заметить, что при $\omega \rightarrow 0$ $K \rightarrow 1$ и при $\omega \rightarrow \infty$ $K \rightarrow 1$. Это означает, что в области нулевой частоты и бесконечно больших частот коэффициент передачи фильтра равен 1. Векторные диаграммы для левой и правой части преобразованной схемы приведены на рисунке 6 а), б). Если направить векторы напряжений $\vec{U}_{R_H} = \vec{U}'_{BЫХ}$ и $\vec{U}_{R_H} = \vec{U}''_{BЫХ}$ из одной точки (рисунок 6, в), то видно, что они при определенной частоте сигнала могут быть равны друг другу по величине и противоположны по фазе. На этой частоте, называемой так же, как и в случае полосового фильтра, квазирезонансной, коэффициент передачи фильтра будет равен нулю, а фаза меняется скачком на π . Если в рассматриваемом заграждающем фильтре положить $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$, $R_3 = R/2$ и $C_3 = 2C$, то выражение для его АЧХ и ФЧХ будет иметь соответственно вид

$$K = \frac{1 - (\omega RC)^2}{\sqrt{[1 - (\omega RC)^2]^2 + 16(\omega RC)^2}}, \quad \varphi = \arctg \frac{4\omega RC}{(\omega RC)^2 - 1}, \quad (5.12)$$

а значение для квазирезонансной частоты будет равно

$$\omega_P = \frac{1}{RC} \quad \text{или} \quad f_P = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau}. \quad (5.13)$$

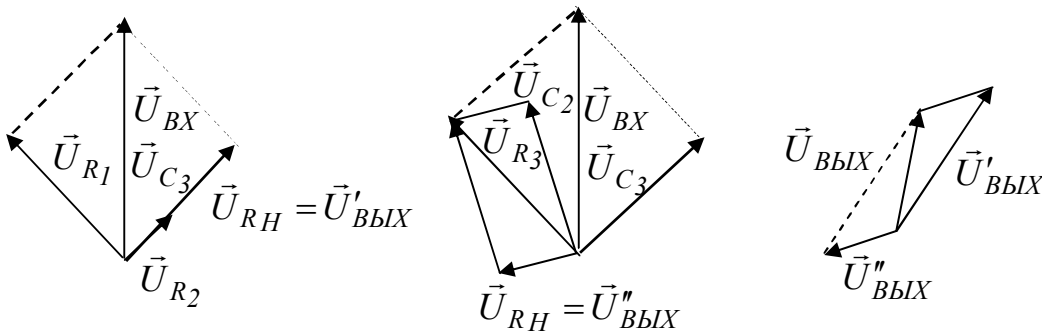


Рисунок 6 – Векторные диаграммы заграждающего RC-фильтра

Лабораторная работа

Расчетное задание

1 Рассчитать значения емкости конденсатора C и частоту среза f_c (или f_p) для фильтров нижних и верхних частот, а также полосового и заграждающего (рисунок 7). Номинальные значения резисторов приведены по вариантам в таблице 1. Значение емкости конденсатора $C = 3300 \text{ пФ}$.

Таблица 1– Значения резисторов, по которым рассчитываются фильтры

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_i, \text{кОм}$	47	40	34	30	26	24	22	20	18	16

2 Рассчитать и построить графики АЧХ и ФЧХ фильтров верхних и нижних частот. Расчеты выполнить для коэффициентов передачи K , равных соответственно 0,2; 0,4; 0,7; 1,0. На графике частоту f откладывать в логарифмическом масштабе.

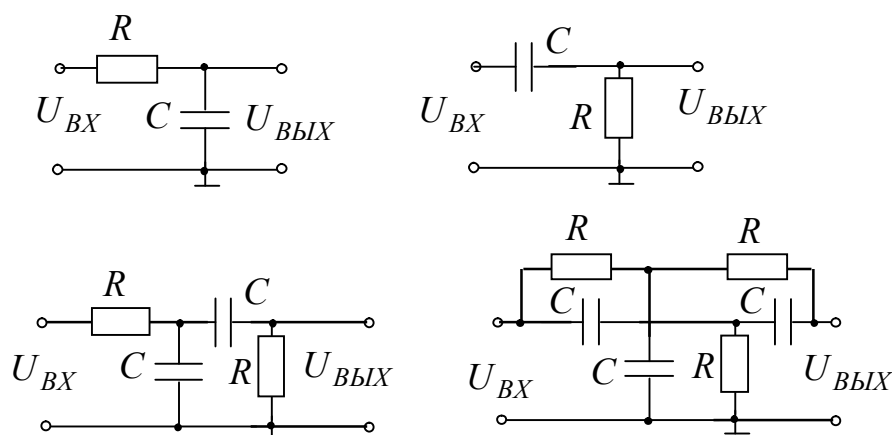


Рисунок 7 – Принципиальные схемы RC -фильтров: а) – нижних частот, б) – верхних частот, в) – полосового фильтра, г) – заграждающего фильтра, где R – резисторы, значения которых соответствуют номеру варианта, C – конденсатор 3300 пФ

Ход работы

1 Исследование RC -фильтров нижних частот

– Собрать на монтажной панели стенда лабораторного схему RC -фильтра нижних частот (рисунок 7, а).

– Подключить к входу фильтра генератор низкочастотных сигналов (ГС), а к выходу осциллограф для измерения переменных напряжений.

– Изменяя частоту входного сигнала в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц , снять АЧХ и ФЧХ фильтра.

Примечание: при измерении зависимости напряжения на выходе фильтра от частоты, необходимо обеспечить постоянную величину напряжения на ГС. Измерения фазового сдвига следует проводить в тех же точках диапазона частот, в которых был рассчитан коэффициент K .

– Измеренные значения занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Таблица экспериментальных измерений фильтра нижних частот

T , мс									
f , кГц									
$U_{\text{ВЫХ}}$, В									
φ									

– Построить графики АЧХ и ФЧХ фильтров. Частоту на графиках откладывать в логарифмическом масштабе.

– Провести сравнительный анализ результатов расчета и эксперимента.

2 Исследование RC-фильтров верхних частот

– Собрать на монтажной панели стенда лабораторного схему RC-фильтра верхних частот (рисунок 7, б).

– Подключить к входу фильтра генератор низкочастотных сигналов (ГС), а к выходу осциллограф для измерения переменных напряжений.

– Изменяя частоту входного сигнала в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц , снять АЧХ и ФЧХ фильтра.

Примечание: при измерении зависимости напряжения на выходе фильтра от частоты, необходимо обеспечить постоянную величину напряжения на ГС. Измерения фазового сдвига следует проводить в тех же точках диапазона частот, в которых был рассчитан коэффициент K .

– Измеренные значения занести в таблицу 3.

– Построить графики АЧХ и ФЧХ фильтров. Частоту на графиках откладывать в логарифмическом масштабе.

– Провести сравнительный анализ результатов расчета и эксперимента.

Таблица 3 – Таблица экспериментальных измерений фильтра верхних частот

T , мс									
f , кГц									
$U_{\text{ВЫХ}}$, В									
φ									

3 Исследование полосового RC -фильтра

– Собрать на монтажной панели стенда лабораторного схему полосового RC -фильтра (рисунок 7, в), параметры которой соответствуют рассчитанным значениям варианта, заданного преподавателем.

– Подключить к входу фильтра генератор низкочастотных сигналов (ГС), а к выходу осциллограф для измерения переменных напряжений.

– Изменяя частоту входного сигнала в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц , снять АЧХ и ФЧХ фильтра.

Примечание: при измерении зависимости напряжения на выходе фильтра от частоты, необходимо обеспечить постоянную величину напряжения на ГС. Измерения фазового сдвига следует проводить в тех же точках диапазона частот, в которых был рассчитан коэффициент K .

– Измеренные значения занести в таблицу 5.4.

– Построить графики АЧХ и ФЧХ фильтров. Частоту на графиках откладывать в логарифмическом масштабе.

– Провести сравнительный анализ результатов расчета и эксперимента.

Таблица 4 – Таблица экспериментальных измерений полосового фильтра

T , мс									
f , кГц									
$U_{\text{ВЫХ}}$, В									
φ									

4 Исследование заграждающего RC -фильтра

– Собрать на монтажной панели стенда лабораторного схему заграждающего RC -фильтра (рисунок 7, г), параметры которой соответствуют рассчитанным значениям варианта, заданного преподавателем.

– Подключить к входу фильтра генератор низкочастотных сигналов (ГС), а к выходу осциллограф для измерения переменных напряжений.

– Изменяя частоту входного сигнала в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц , снять АЧХ и ФЧХ фильтра.

Примечание: при измерении зависимости напряжения на выходе фильтра от частоты, необходимо обеспечить постоянную величину напряжения на ГС. Измерения фазового сдвига следует проводить в тех же точках диапазона частот, в которых был рассчитан коэффициент K .

– Измеренные значения занести в таблицу 5.

– Построить графики АЧХ и ФЧХ фильтров. Частоту на графиках откладывать в логарифмическом масштабе.

– Провести сравнительный анализ результатов расчета и эксперимента.

Таблица 5 – Таблица экспериментальных измерений
заграждающего фильтра

T , мс									
f , кГц									
$U_{ВЫХ}$, В									
φ									

Правила оформления отчета по лабораторной работе

Отчет должен содержать:

- 1 Титульный лист.
- 2 Название и цель работы.
- 3 Принципиальные схемы рассчитанных фильтров с указанием на них номинальных значения элементов.
- 4 Таблицы экспериментальных значений.
- 5 Результаты сравнительного анализа результатов расчета и эксперимента.
- 6 Векторные диаграммы исследованных в работе RC -фильтров.

Контрольные вопросы

- 1 Что понимают под электрическими m - и k -фильтрами?
- 2 Дать определение полосы прозрачности, полосы затухания, частоты среза?
- 3 Как можно классифицировать электрических фильтров?
- 4 Что вы знаете о фильтрах нижних частот?
- 5 Что представляют собой фильтры верхних частот?
- 6 В чем различие полосовых фильтров от фильтров заграждающих?
- 7 Как по схеме k -фильтров определить, к какому типу он принадлежит?
- 8 Определите условия при котором k -фильтр может работать на согласованную нагрузку.
- 9 Какой носит характер характеристическое сопротивления k -фильтра в полосе прозрачности и полосе пропускания?
- 10 Чем принципиально отличаются RC -фильтры от m - и k -фильтров?
- 11 Получите аналитическое выражение для АЧХ и ФЧХ RC -фильтров верхних и нижних частот.
- 12 Постройте векторные диаграммы исследованных в работе RC -фильтров.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы:

- изучение устройства, работы полупроводниковых диодов, полупроводниковых стабилитронов, тиристоров;
- изучение характеристик и параметров полупроводниковых диодов, полупроводниковых стабилитронов, тиристоров.

Сведения из теории

1.1 Диоды, p-n – переход

Понятие «диод» объединяет широкий круг приборов различного назначения с разными принципами действия. В начале XX в. появился электровакуумный диод - электронная лампа с двумя электродами: подогреваемым катодом и холодным анодом (рисунок 1). Такой диод пропускает ток только в одном направлении, так как носителями тока в вакууме являются испускаемые раскаленным заряд в области p-n - перехода катодом электроны. Вакуумный диод в настоящее время повсеместно вытеснен полупроводниковыми диодами и применяется лишь в высоковольтных выпрямителях (рентгеновские установки, источники напряжения для телевизионных трубок) и при некоторых физических измерениях, требующих полного отсутствия обратного тока.

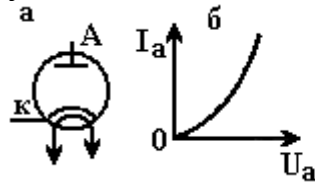


Рисунок 1- Обозначение (а) и вольт-амперная характеристика (б)

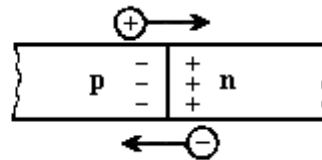


Рисунок 2- Пространственный заряд в области p-n-перехода вакуумного диода

Электронно-дырочный, или p-n-переход - это область полупроводников, в которой имеет место пространственное изменение типа проводимости от электронной (n) к дырочной (p). В n-области основными подвижными носителями электрического заряда являются электроны, в p-области - дырки. Находящиеся вблизи p-n-перехода подвижные носители заряда диффундируют в область с проводимостью, обусловленной носителями противоположного знака, и взаимно рекомбинируют. В результате у p-n-перехода образуется обедненный свободными носителями двойной слой пространственного заряда (рисунок 2). В p-области этот слой создается оставшимися после рекомбинации свободных носителей связанными с кристаллической решеткой отрицательными ионами акцепторной примеси, в n-области - положительными ионами донорной, и его электрическое поле противодействует дальнейшей диффузии. Разность потен-

циалов между p и n областями, или потенциальный барьер, составляет десятые доли вольта.

В полупроводниках постоянно образуются и рекомбинируют тепловые электронно-дырочные пары, создавая некоторое количество неосновных носителей (электронов в p-области и дырок в n-области). Находящиеся вблизи p-n-перехода неосновные носители, прежде чем успеют рекомбинировать с основными, могут попасть в поле потенциального барьера и служить причиной дрейфового тока. При отсутствии внешних воздействий этот ток постоянно компенсируется диффузионным током основных носителей: устанавливается динамическое равновесие.

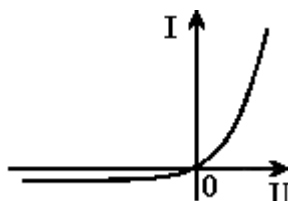


Рисунок 3 - Вольтамперная характеристика p - n-перехода

Если к p-области приложить отрицательный относительно n-области потенциал (обратное смещение), то его поле будет направлено по полю потенциального барьера. С увеличением напряжения обратного смещения диффузионный ток основных носителей убывает и далее совсем прекращается, а дрейфовый ток неосновных носителей (обратный ток) возрастает, быстро достигая насыщения (рисунок 3). Обратный ток ограничивается интенсивностью образования электронно-дырочных пар, поэтому он сильно зависит от температуры перехода.

Если к p-области приложить положительный относительно n-области потенциал (прямое смещение), то его поле будет направлено против поля потенциального барьера. С увеличением напряжения прямого смещения потенциальный барьер снижается и далее исчезает, а диффузия, подвижных носителей заряда через p-n-переход возрастает. Пересекающие переход носители становятся неосновными и рекомбинируют с основными носителями области, в которую они диффундировали. Пополнение рекомбинировавших основных носителей обеспечивается притоком их из внешней цепи - через p-n-переход протекает прямой ток. Этот ток называют диффузионным, так как он поддерживается за счет диффузии подвижных носителей заряда через p-n-переход.

На основе p-n-переходов изготавливают выпрямительные и импульсные диоды, стабилитроны, диоды СВЧ, фотодиоды, светоизлучающие диоды, полупроводниковые квантовые генераторы.

Выпрямительные диоды выпускают на токи до 500 А. Допустимые обратные напряжения лежат в диапазоне от 20 В до 2 кВ. Диоды для токов до 100 мА называются универсальными и могут иметь различные применения. Из-за большого времени жизни инжектированных дырок ($\sim 10^{-5}$ — 10^4 с) выпрямительные диоды применяются на частотах 50—2000 Гц.

Технологические приемы, такие, например, как легирование германия и кремния золотом, позволили создать быстродействующие импульсные диоды, имеющие время переключения до 10^{-10} с.

1.2 Некоторые специальные диоды

При больших обратных смещениях резко возрастает обратный ток вследствие пробоя р-п-перехода (рисунок 4). Пробой возникает при достаточно сильном электрическом поле, когда неосновные носители ускоряются настолько, что ионизируют атомы полупроводника. Если мощность, выделяющаяся в р-п-переходе, поддерживается на допустимом уровне, диод сохраняет работоспособность и после пробоя. Такой пробой является основным рабочим режимом для диодов, называемых стабилитронами.

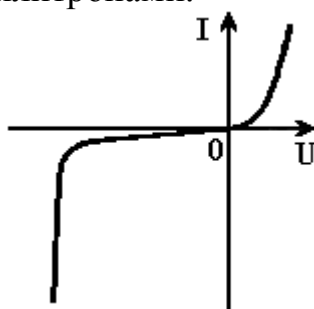


Рисунок 4 - Вольтамперная характеристика стабилитрона

При изменении величины обратного смещения (потенциального барьера) емкость между р и п областями) (барьерная емкость изменяется. Это явление используется в диодах, называемых варикапами, в которых постоянная составляющая приложенного напряжения меняет условия прохождения переменной составляющей небольшой амплитуды.

Приборы, в которых используется зависимость емкости от мгновенных значений приложенного напряжения, называются варакторами.

Если р и п области сильно легированы, то при малых значениях приложенного напряжения существен вклад тока через р-п-переход, обусловленного туннельным эффектом. Диоды с использованием этого эффекта, или туннельные диоды, имеют вольтамперную характеристику с областью отрицательного сопротивления, в которой ток возрастает при уменьшении напряжения (рисунок 5, а). Туннельный пробой при обратном смещении положен в основу действия низковольтных стабилитронов.

При очень сильном легировании резкое нарастание обратного тока начинается сразу же с увеличением обратного напряжения от нуля и обратная ветвь оказывается круче прямой ветви (рисунок 5, б). Диоды с такой характеристикой называются обращенными и применяются в схемах с низкими уровнями напряжения.

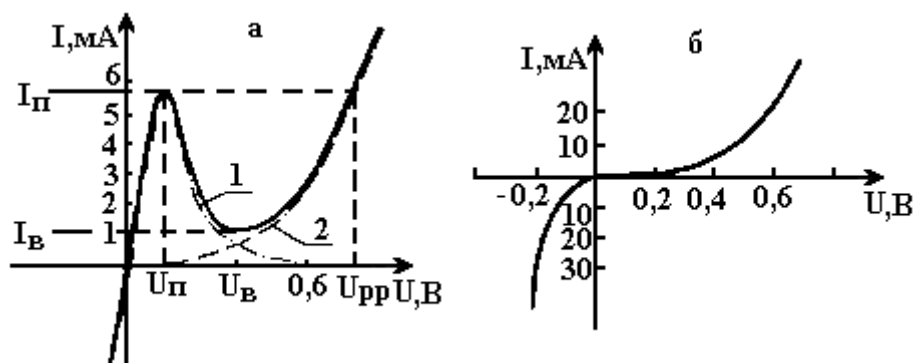


Рисунок 5 - Типичные вольтамперные характеристики туннельного (а) и обращенного (б) диодов: 1 - туннельный ток; 2 - диффузионный ток

1.3. Тиристоры

Тиристор - это управляемый диод с четырехслойной р-п-р-п-структурой. Средние слои носят название р и п базы, крайние - р и п эмиттеры или соответственно анод и катод. У тиристоров с катодным управлением делается вывод от р-базы (рисунок 6, а), при анодном управлении управляющий электрод подключается к п-базе. Если управляющий электрод отключен и к тиристору приложено напряжение U_a прямой полярности (рисунок 6,а), то первый (П1) и третий (П3) р-п-переходы смещаются в прямом направлении, а второй (П2) - в обратном. Через р - п-переходы П1 и П3 в соседние области инжектируются неосновные носители, которые, проникая в область перехода П2, увеличивают ток через этот переход и уменьшают падение напряжения на нем. Тем не менее наибольшее падение напряжения в цепи при небольших U_a происходит на обратном смещенном переходе П2. Когда напряжение на тиристоре достигает $U_{пер}$, происходит лавинообразное нарастание тока до величины, определяемой сопротивлением включенного в цепь тиристора резистора R. Процесс перехода тиристора в состояние с высокой проводимостью можно объяснить, представив тиристор в виде комбинации двух транзисторов (рисунок 7.).

Тогда равные эмиттерные токи каждого транзистора $I_{э1}$ и $I_{э2}$ могут быть определены как сумма коллекторных токов этих транзисторов и обратного тока коллектора $I_{к0}$:

$$I = I_{э1} = I_{э2} = I_{к1} + I_{к2} + I_{к0}.$$

Выразим коллекторные токи через эмиттерные и коэффициенты передачи тока α_1 и α_2 соответственно транзисторов VT1 и VT2:

$$I_{к1} = \alpha_1 I_{э1} = \alpha_1 I,$$

$$I_{к2} = \alpha_2 I_{э2} = \alpha_2 I,$$

$$I = I_{к0} / (1 - (\alpha_1 + \alpha_2)).$$

При малых токах коэффициенты α_1 , α_2 и их сумма существенно меньше единицы. С увеличением тока значения этих коэффициентов растут. При $\alpha_1 + \alpha_2 \cong 1$ ток возрастает скачкообразно до величины, определяемой сопротивлением R.

Возврат в состояние с низкой проводимостью происходит при токе $I_{уд} < I_{пер}$ (рисунок 6, в).

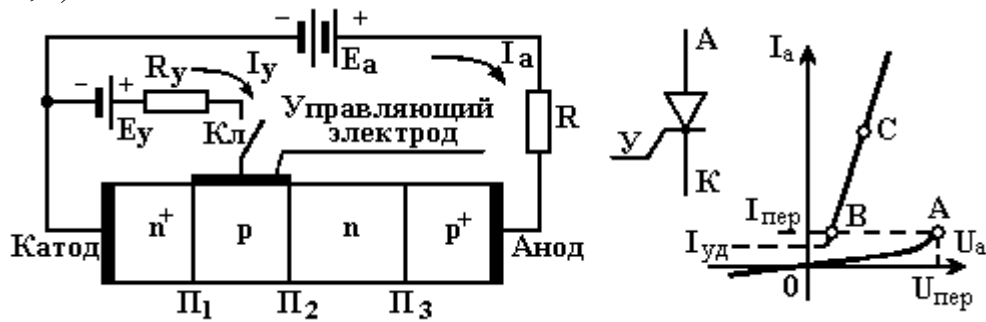


Рисунок 6 - Структура (а), обозначение (б) и вольтамперная характеристика при разомкнутом ключе Кл (в) тиристора с катодным управляющим электродом

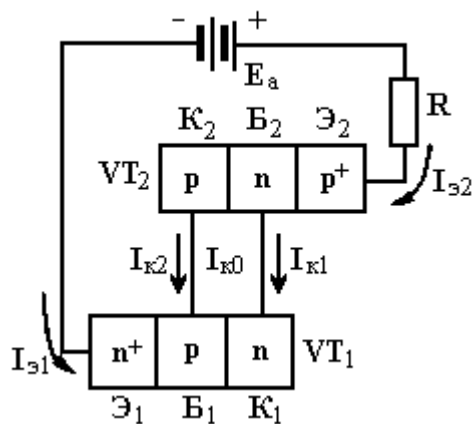


Рисунок 7 - Представление тиристора в виде комбинации двух транзисторов

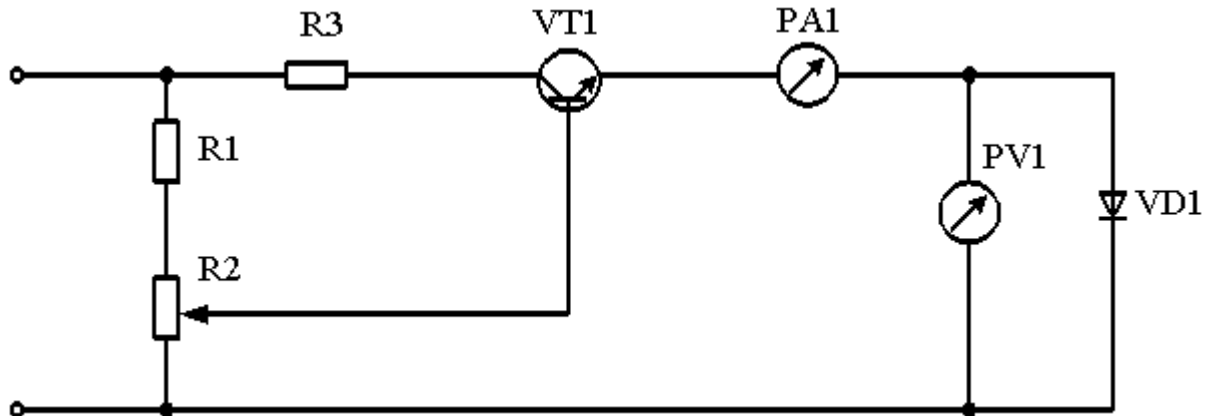
Рассмотренный режим работы неуправляемого тиристора, или просто диристора, применяется сравнительно редко. Чаще используется режим, в котором при положительном напряжении между анодом и катодом коротким импульсом на управляющем электроде (например, кратковременным замыканием ключа Кл на рисунке 6,а) тиристор переводится в состояние с высокой проводимостью. Выключение тиристора происходит обычно при смене полярности напряжения источника. Промышленность выпускает тиристоры на токи от 1 мА до 10 кА и напряжения от единиц вольт до нескольких киловольт. Типичные значения времени включения - от долей до десятков микросекунд, времени выключения - от единиц до сотен микросекунд, к. п. д. тиристоров в режиме управляемого вентиля достигает 99%. Графическое обозначение тиристора показано на рисунке 6, б.

Лабораторная работа

Лабораторная работа по исследованию полупроводникового диода проводится в следующей последовательности:

2.1. Собрать схему согласно рисунка 8, потенциометр установить в нижнее по схеме положение.

2.2. Изменяя напряжение $U_{пр.}$ от 0 до 1 V, измерить прямой ток $I_{пр.}$ для диодов КД209А, КД521А.



PA1 - прибор комбинированный 43101; PV1 - прибор комбинированный Ц4342;
R1 - резистор 470 Ω ; R2 - резистор 470 Ω ; R3 - резистор 680 Ω

Рисунок 8

2.3. Построить график: $I_{пр.} = f(U_{пр.})$.

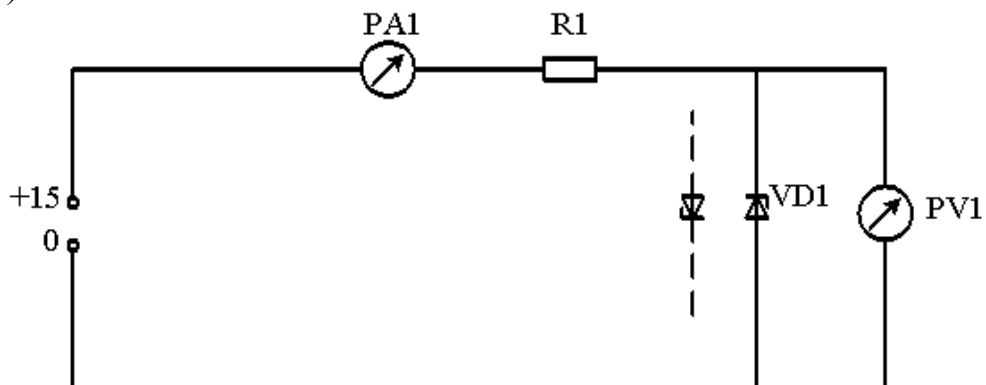
Лабораторная работа по исследованию полупроводникового стабилитрона проводится в следующей последовательности:

2.4. Собрать схему согласно рисунка 9.

2.5. Установить переключатель блока ПГ в положение « + 15 », а ручку « + 15 » - в левое крайнее положение.

2.6. Подключить схему к гнездам « + 15 »; « 0 ».

2.7. Увеличивая напряжение ручкой « + 15 » до максимального значения, снять зависимость тока стабилитрона ($I_{см}$) от напряжения стабилитрона ($U_{см}$) (прямая ветвь).



PA1 - прибор комбинированный 43101; PV1 - прибор комбинированный Ц4342;
R1 - резистор 470 Ω

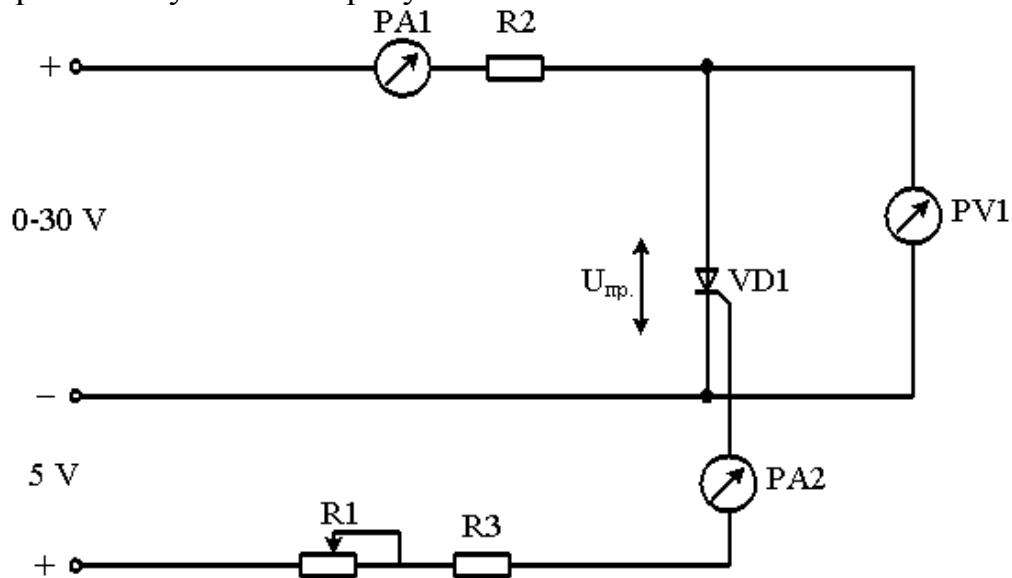
Рисунок 9

2.8. Включить стабилитрон в обратном направлении и снять зависимость тока стабилитрона (I_{cm}) от напряжения стабилитрона (U_{cm}) (обратная ветвь).

2.9. По данным измерений построить графики прямой и обратной ветви, вольт-амперной характеристики стабилитрона.

Лабораторная работа по исследованию работы тиристора проводится в следующей последовательности:

2.10. Собрать схему согласно рисунка 10.



PA2, PA1 - комбинированный прибор 43101; PV1 - комбинированный прибор Ц4342; R1 - резистор переменный 22 k Ω ; R2 - резистор 100 Ω ; R3 - резистор 470 Ω ; VD1 - тиристор КУ101А

Рисунок 10

2.11. Подключить схему к гнездам блока ПГ « + 5 », « + 15 », « - 15 ».

2.12. Изменяя ручками « + 15 », « - 15 » на блоке ПГ напряжение питания, снять вольт-амперную характеристику триодного тиристора. $I_{пр.} = f(U_{пр.})$ при токах в управляющем электроде 5, 10, 15 mA, управляющий ток устанавливается с помощью переменного резистора R1.

2.13. По данным измерения построить вольт-амперные характеристики динистора и диодного тиристора.

3 Контрольные вопросы

3.1. Что представляет собой p-n и n-p- переходы?

3.2. Нарисуйте вольт-амперную характеристику полупроводникового диода и сравните ее с теоретической вольт-амперной характеристикой p-p- перехода?

3.3. Расскажите о влиянии температуры на вольт-амперную характеристику?

3.4. Какими параметрами характеризуются выпрямительные диоды?

3.5. Нарисуйте вольт-амперную характеристику варикапа, расскажите о его основных параметрах?

- 3.6. Нарисуйте вольт-амперную характеристику туннельного диода. Расскажите о его основных параметрах?
- 3.7. Нарисуйте вольт-амперную характеристику стабилитрона. Расскажите о его основных параметрах?
- 3.8. Какими параметрами характеризуются переключательные диоды?
- 3.9. Нарисуйте вольт-амперную характеристику тиристора. Расскажите о его основных параметрах?
- 3.10. Какие типы тиристорov вы знаете?

4 Требования по содержанию отчета

Отчет должен содержать:

- 4.1. Титульный лист.
- 4.2. Схему рисунка 8.
- 4.3. Значения измеренного прямого тока $I_{пр}$ для диодов КД209А, КД521А.
- 4.4. График зависимости $I_{пр.} = f(U_{пр.})$.
- 4.5. Схему рисунка 9.
- 4.6. Зависимость тока стабилитрона ($I_{см}$) от напряжения стабилитрона ($U_{см}$) (прямая ветвь).
- 4.7. Зависимость тока стабилитрона ($I_{см}$) от напряжения стабилитрона ($U_{см}$) (обратная ветвь).
- 4.8. Графики прямой и обратной ветви вольт-амперной характеристики стабилитрона.
- 4.9. Схему рисунка 10.
- 4.10. Вольт-амперную характеристику триодного тиристора. $I_{пр.} = f(U_{пр.})$ при токах в управляющем электроде 5, 10, 15 мА.
- 4.11. График вольтамперной характеристики динистора и диодного тиристора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Цель работы:

- изучение основных схем усилителей низкой частоты;
- ознакомление с методами исследования и анализа основных характеристик усилителей низкой частоты.

1 Сведения из теории

1.1 Общие сведения

Электронным усилителем называется устройство, предназначенное для усиления одного из параметров электрического сигнала (тока, напряжения или мощности). Усилитель состоит из транзистора, источника питания и вспомогательных элементов - резисторов, конденсаторов, дросселей. Вспомогательные элементы определяют необходимый режим работы транзисторов. Сочетание транзистора со всеми относящимися к ним элементами схемы называют усилительным каскадом.

В зависимости от частоты усиливаемого сигнала различают усилители постоянного тока, низкой частоты, высокой частоты и сверхвысокой частоты. По назначению, т. е. в зависимости от того, какой параметр усиливается, существуют усилители напряжения, тока и мощности. По характеру усиливаемого сигнала различают усилители непрерывных сигналов и усилители импульсных сигналов.

Усилитель имеет входные и выходные зажимы. К входным зажимам подводится электрический сигнал. Для источника входного сигнала сам усилитель представляет некоторое сопротивление, называемое входным. На этом сопротивлении расходуется мощность источника сигнала, которую желательно иметь как можно меньше. Этого стараются достигнуть увеличением входного сопротивления усилителя.

К выходным зажимам усилителя присоединяется нагрузка. На ней создается переменное напряжение и выделяется мощность усиленных колебаний

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых.макс.}}^2}{2R_n}$$

Для оценки работы усилителя вводится понятие коэффициента усиления по мощности

$$K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$$

Как правило, одного каскада недостаточно для нужного усиления сигнала. Тогда усилитель составляется из нескольких каскадов. Электрический сигнал, усиленный первым каскадом, подается на вход второго каскада и т. д. Источники питания в большинстве случаев являются общими для всех каскадов усилителя. В радиоприемниках последний выходной-каскад обеспечивает нагрузку (громкоговоритель) необходимой мощностью.

Предыдущие каскады обеспечивают предварительное усиление сигнала. Каскады на транзисторах в отличие от ламповых каскадов при отсутствии тока во входной цепи не работают. Для них существенным показателем работы усилителя служит коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{I_{\text{вых.макс.}}}{I_{\text{вх.макс.}}}$$

Для многокаскадного усилителя коэффициент его усиления равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов

$$K_{\text{общ.}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$

Классы усиления. В зависимости от выбранного режима работы транзистора различают три класса усиления (рисунок 1).

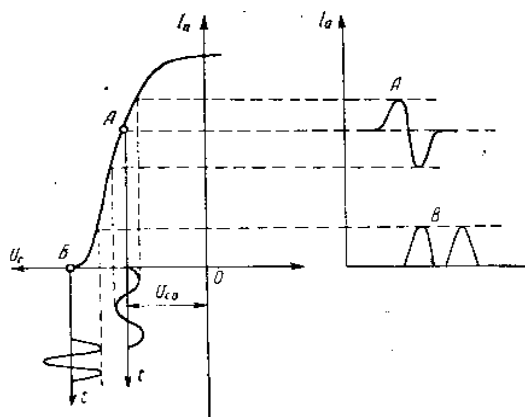


Рисунок 1 - Классы усиления.

При работе транзистора в режиме А переменный ток протекает в выходной цепи в течение всего периода, т.е. в процессе работы не происходит запаривание транзистора. Коэффициент полезного действия получается невысоким.

Режим В характерен тем, что ток покоя равен нулю, ток протекает в течение одного полупериода колебания. При отсутствии сигнала усилитель не потребляет мощности от источника питания. Режим В характеризуется более высоким коэффициентом полезного действия и применяется в мощных усилителях.

Режим АВ является промежуточным между А и В. Значения к. п. д. и искажения занимают среднее положение между соответствующими параметрами режимов А и В.

Основное назначение усилителя - усиливать колебания, не искажая их формы. Но в усилителях всегда есть реактивные элементы, сопротивление ко-

торых зависит от частоты, транзисторы имеют нелинейные характеристики. Поэтому усилитель сам искажает усиливаемый сигнал. Различают частотные, фазовые и нелинейные искажения.

Каждый усилитель характеризуется диапазоном частот (полосой), в пределах которого он может усиливать напряжение или мощность. Разность максимальной и минимальной частот, которые способен усиливать усилитель, называют полосой пропускания усилителя. Она обозначается $2\Delta f$:

$$2\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}.$$

Для характеристики работы усилителя при разных амплитудах колебаний, подведенных к его входу, строят амплитудную характеристику (рисунок 2). Обычно УНЧ содержит один или несколько каскадов предварительного усиления и один оконечный каскад.

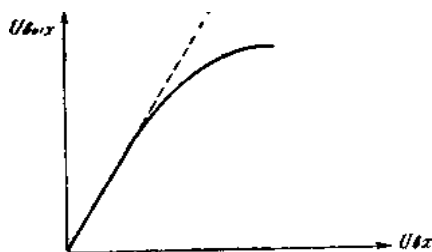


Рисунок 2 - Амплитудная характеристика УНЧ.

Каскады предварительного усиления выполняются по схеме с RC-связью. Рассмотрим схему каскада усилителя (рисунок 3).

Входной сигнал поступает в цепь базы транзистора (схема с общим эмиттером). Получаемый на резисторе R_k усиленный сигнал через разделительный конденсатор C_2 проходит в цепь базы транзистора следующего каскада. Смещение на базу транзистора подают от общего источника питания усилителя через делитель напряжения $R_1 R_2$ (отрицательное напряжение смещения равно десятым долям вольта). Смещение в цепи базы равно падению напряжения на резисторе R_2 и достаточно стабильное.

При изменении температуры существенно изменяются параметры транзисторов. Для их стабилизации в цепь эмиттера включают резистор R_3 , на котором создается дополнительное смещение между базой и эмиттером, противоположное напряжению смещения, выделенному на резисторе R_2 . Положение рабочей точки на характеристике транзистора зависит от соотношения сопротивлений резисторов R_1, R_2, R_3 . Величина тока базы, определяющего рабочую точку, зависит от напряжения $U_{\text{см(бэ)}}$.

Если ток эмиттера возрастет, то падение напряжения на резисторе R_3 увеличится, а отрицательное смещение на базе уменьшится, что приведет к снижению токов эмиттера и коллектора. Обратная связь по переменному току устраняется подключением к резистору R_3 конденсатора большой емкости C_3 (>10

мкф). Для того чтобы по постоянному току база не соединялась с эмиттером через источник входного сигнала, последний включен через разделительный конденсатор C_1 .

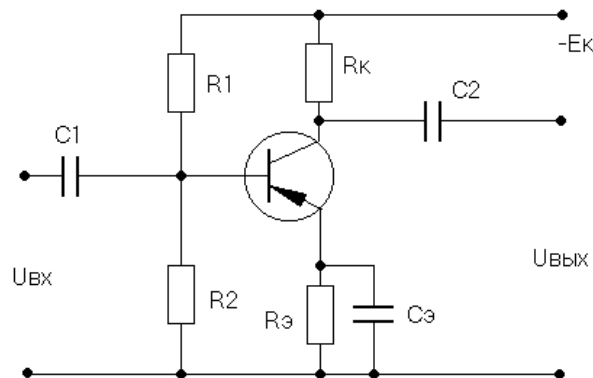
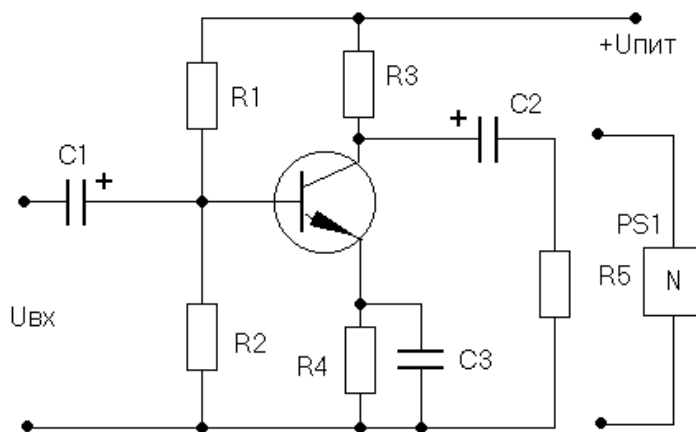


Рисунок 3 - Схема каскада транзисторного УНЧ

Лабораторная работа

Лабораторная работа по исследованию резисторного усилителя низкой частоты проводится в следующей последовательности:

- 2.1. Собрать схему рисунка 4.
- 2.2. Подключить схему к гнездам " +15 V ", " 0 ", " U_m " и установить необходимое напряжение питания.
- 2.3. Подать на выход усилителя с блока ПГ напряжение синусоидальной формы 25 mV частотой 1000 Hz, изменяя величину резистора R2 и $U_{вх}$ добиться на нагрузке максимального неискаженного выходного сигнала.
- 2.4. Изменяя входной сигнал от 0 до ограничения выходного сигнала, снять с помощью осциллографа амплитудную характеристику усилителя $U_{вых} = F(U_{вх})$ на частоте входного сигнала 200, 1000, 10000 kHz.
- 2.5. Установить входной сигнал напряжением, равным половине значения сигнала, при котором начинается ограничение, и снять частотную характеристику усилителя $K_u = F(f)$.
- 2.6. По данным измерений построить характеристики: амплитудную $U_{вых} = f(U_{вх})$ и частотную $K_u = F(f)$.



C1, C2 - конденсатор $10\mu\text{F}$, 16 V; C3 - конденсатор $50\mu\text{F}$, 16 V; R1 – резистор $150\text{ k}\Omega$; R2 - резистор $47\text{ k}\Omega$; R3 - резистор $10\text{ k}\Omega$; R4 - резистор $680\ \Omega$; R5 - резистор $22\text{ k}\Omega$; VT1 - транзистор КТ315А; PS1 - осциллограф.

Рисунок 4

3 Контрольные вопросы

- 3.1. Что называется электронным усилителем?
- 3.2. Из каких элементов состоит усилитель?
- 3.3. Что называется усилительным каскадом?
- 3.4. Что называется коэффициентом мощности?
- 3.5. С какой целью применяют несколько каскадов в усилителях?
- 3.6. Как вычисляется коэффициент усиления многокаскадного усилителя?
- 3.7. Перечислите классы и охарактеризуйте усиления усилителя?
- 3.8. Что называют полосой пропускания усилителя?
- 3.9. Нарисуйте амплитудную характеристику усилителя низкой частоты?
- 3.10. Нарисуйте схему каскада транзисторного усилителя низкой частоты и расскажите как она работает?

4 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 3.1. Титульный лист.
- 3.2. Тему и цель работы.
- 3.3. Схема рисунка 4.
- 3.4. Значения амплитудных характеристик усилителя $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$ на частоте входного сигнала 200, 1000, 10000 kHz.
- 3.5. Значения частотной характеристики усилителя $K_{\text{ц}} = F(f)$.
- 3.6. Графики характеристик амплитудной $U_{\text{вых}} = F(U_{\text{вх}})$ и частотную $K_{\text{ц}} = F(f)$.
- 3.7. Выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИТТЕРНОГО ПОВТОРИТЕЛЯ

Цель работы:

- ознакомление с принципиальными схемами эмиттерного и истокового повторителей;
- ознакомление с методами исследования эмиттерных повторителей.

Сведения из теории

1.1 Эмиттерный повторитель

Эмиттерным повторителем называется усилительный каскад, в котором транзистор включен по схеме с общим коллектором (рисунок 1,а). Нагрузкой в этом случае служит резистор R_3 . Как видно на схеме, в эмиттерном повторителе действует стопроцентная последовательная отрицательная обратная связь по напряжению, которая, как известно, уменьшает коэффициент усиления, повышает стабильность коэффициента усиления, увеличивает входное и уменьшает выходное сопротивление каскада. Поэтому их применяют для согласования электронных цепей, имеющих высокое выходное сопротивление, с электронными цепями, имеющими низкие входное сопротивление.

Рассматривая работу схемы в области средних частот, пренебрегаем влиянием разделительных конденсаторов и тогда сопротивление нагрузки переменному току определяется как

$$R_{\text{эн}} = \frac{R_3 R_H}{R_3 + R_H}.$$

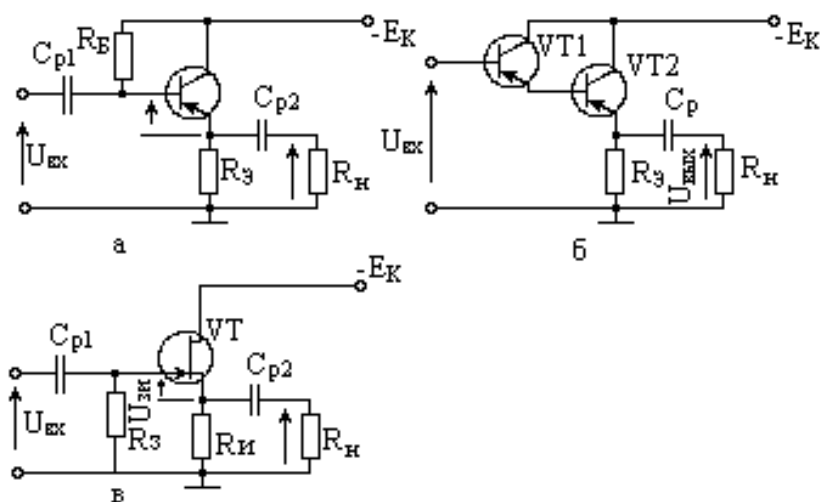


Рисунок 1 - Принципиальные схемы эмиттерного и истокового повторителей

С учетом того, что в схеме действует стопроцентная отрицательная обратная связь, т. е. $\beta = 1$, для коэффициента усиления $K_э$ эмиттерного повторителя по напряжению запишем

$$K_э = \frac{K}{1 + K},$$

где $K = \frac{I_э R_{эН}}{U_{эб}} = SR_{эН}$ - коэффициент усиления каскада по напряжению при разомкнутой обратной связи;

$S = y_{21}$ - проводимость прямой передачи транзистора.

Тогда

$$K_э = \frac{SR_{эН}}{1 + SR_{эН}}.$$

Таким образом, коэффициент усиления $K_э$ эмиттерного повторителя по напряжению всегда меньше единицы. С увеличением $R_{эН}$ коэффициент усиления растет. На практике $K_э$ достигает значений 0,85...0,95.

Для определения выходного сопротивления запишем коэффициент усиления $K_э$ эмиттерного повторителя как

$$K_э = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{I_э R_{\text{ВЫХ}}}{I_б R_{\text{ВХ}}}$$

($I_э$ является выходным током схемы, а $I_б$ - ее входным током). Определив $I_э$ и $I_б$ через «у» параметры транзистора, после некоторых преобразований получим

$$K_э = SR_{\text{ВЫХ}}.$$

Тогда можно записать, что

$$K_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_{эН}}{1 + SR_{эН}}$$

Таким образом, выходное сопротивление эмиттерного повторителя мало и может достигать значений десятков Ом, что характерно для усилителей с отрицательной обратной связью по напряжению.

Для контура, проходящего через входную и выходную цепи эмиттерного повторителя, без учета сопротивления $R_б$ цепи смещения, по второму закону Кирхгофа можно записать

$$U_{\text{ВХ}} = U_{эб} + U_{\text{ВЫХ}}.$$

Или, после некоторых преобразований

$$U_{\text{ВХ}} = \frac{U_{эб}}{1 - K_э}.$$

Разделив обе части равенства на входной ток $I_б$, получим

$$R_{\text{ВХ.э}} = R_{\text{ВХ}} (1 + K) = R_{\text{ВХ}} (1 + SR_{эН}),$$

где $R_{вх.э} = \frac{U_{вх}}{I_б}$ - входное сопротивление эмиттерного повторителя;

$R_{вх} = \frac{U_{эб}}{I_б} \approx \frac{1}{g}$ - входное сопротивление каскада при разомкнутой цепи обратной связи;

$g = y_{11}$ - входная проводимость транзистора.

Как видим, входное сопротивление эмиттерного повторителя значительно больше, чем в аналогичном каскаде с коллекторной нагрузкой, что характерно для усилителей с последовательной отрицательной обратной связью.

Так как крутизна S современных транзисторов ≥ 1 , а $R_э$ в схемах эмиттерных повторителей имеет порядок сотен Ом, то следовательно, $SR_{э} \geq 1$ и тогда можно записать $R_{вх.э} \approx SR_{вх} R_{э}$. Заменив в последнем выражении $R_{вх}$ на $1/g$, а также учитывая, что отношение $\frac{S}{g}$ является статическим коэффициентом β

усиления транзистора по току, получим $R_{вх.э} \approx R_{э}$. Отсюда следует, что если увеличение входного сопротивления каскада является первоочередным требованием, то этого можно достичь применением в эмиттерном повторителе составного транзистора из двух или трех транзисторов, в котором, как известно, β велико (рисунке 1,б). Учитывая, что цепи смещения снижают входное сопротивление каскада, делитель в цепи базы в этих схемах не применяют.

Так как эмиттерный повторитель обладает большим входным и малым выходным сопротивлением, то коэффициент усиления по току здесь может быть очень высоким.

1.2 Истоковый повторитель

Истоковый повторитель строится на полевом транзисторе при включении его по схеме с общим стоком (рисунок 1, в). В диапазоне средних частот влиянием разделительных конденсаторов можно пренебречь и тогда сопротивление нагрузки переменному току определится как

$$R_{ин} = \frac{R_и R_н}{R_и + R_н}.$$

Также как и в эмиттерном повторителе, в истоковом повторителе действует стопроцентная последовательная обратная связь по напряжению. Поскольку коэффициент передачи β цепи обратной связи равен единице, для коэффициента усиления $K_и$ истокового повторителя можно записать

$$K_и = \frac{K}{1 + K},$$

где $K = \frac{I_н R_{ин}}{U_{зи}} = SR_{ин}$ - коэффициент усиления каскада по напряжению при разомкнутой обратной связи;

S - крутизна характеристики полевого транзистора. Тогда

$$K_{и} = \frac{SR_{ин}}{1 + SR_{ин}}.$$

Следовательно, также как и в эмиттерном повторителе, истоковый повторитель не усиливает напряжение.

Запишем коэффициент усиления $K_{и}$ истокового повторителя как отношение выходного и входного напряжений схемы

$$K_{и} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{I_{и} R_{вых}}{I_{з} R_{вх}},$$

где $I_{и}$ - ток истока, являющийся выходным током каскада; $I_{з}$ - ток затвора, являющийся входным током каскада.

Определив токи $I_{и}$ и $I_{з}$ через параметры транзистора ($I_{и} = SU_{зи}$ и $I_{з} = \frac{U_{зи}}{R_{вх}}$) после некоторых преобразований получим

$$K_{и} = SR_{вых},$$

где

$$R_{вых} = \frac{R_{ин}}{1 + SR_{ин}}.$$

Таким образом, наличие отрицательной обратной связи по напряжению приводит к уменьшению выходного сопротивления истокового повторителя. Записав для контура, проходящего через входную и выходную цепи истокового повторителя, выражение по второму закону Кирхгофа, подобно схеме эмиттерного повторителя, после некоторых преобразований получим $U = \frac{U_{зи}}{1 - K_{и}}$. Разделив обе части равенства на входной ток $I_{з}$, получим $R_{вх.и} = R_{вх} (1 + K) = R_{вх} (1 + SR_{и})$. Как видим, входное сопротивление истокового повторителя возрастает благодаря наличию в схеме последовательной отрицательной обратной связи.

Истоковый повторитель обладает также большим коэффициентом усиления по току. На практике истоковые повторители, также как и эмиттерные повторители, чаще всего применяются в качестве вспомогательных усилительных каскадов для согласования высокоомных электронных цепей с низкоомными.

1.2 Фазоинверсные каскады

Фазоинверсные каскады являются предоконечными каскадами усилителя, если окончательный каскад является двухтактным усилителем мощности. Фазоинверсный каскад должен обеспечить на входе двухтактного усилителя мощности два одинаковых напряжения, сдвинутых по фазе на 180° .

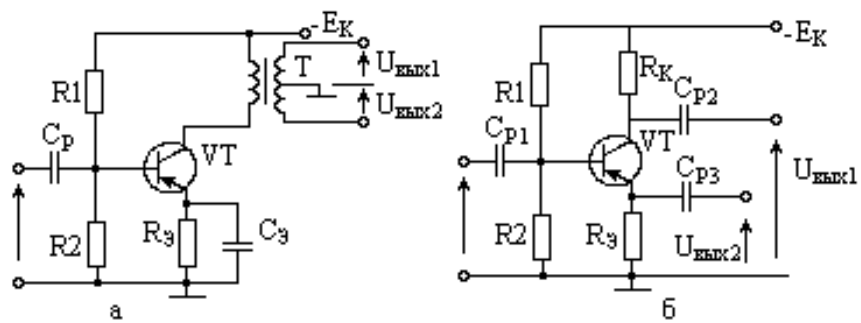


Рисунок 2 - Принципиальные схемы фазоинверсных усилительных каскадов

Наиболее просто осуществить инверсию фазы с помощью каскада с трансформаторным выходом.

Вторичная обмотка такого трансформатора выполняется с выводом средней точки (рисунок 2, а). Расчет такого каскада не отличается от расчета трансформаторного транзисторного каскада усиления мощности, работающего в режиме А. Нагрузкой плеча вторичной обмотки является входное сопротивление одного плеча двухтактного усилителя мощности, а коэффициент трансформации определяется как отношение числа витков половины вторичной обмотки к числу первичной.

Основными недостатками трансформаторного инверсного каскада являются большие вес, габариты и стоимость, а также наличие дополнительных нелинейных искажений.

Поэтому часто между предоконечным и окончательным мощным двухтактным каскадами помещают так называемый фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой (рисунок 2, б). Здесь одинаковые по величине и противоположные по фазе напряжения снимаются с коллектора и эмиттера транзистора VT. Нагрузочное сопротивление разбито на две части R_k и R_3 , причем $R_k = R_3$. Достоинствами каскада с разделенной нагрузкой являются его простота, использование одного усилительного элемента, малый коэффициент гармоник. К недостатку следует отнести большое различие входных сопротивлений плечей схемы, так как нижнее плечо представляет собой эмиттерный повторитель, а верхнее - усилительный каскад с общим эмиттером.

1.4 Каскодные схемы

Каскодной схемой называют схему с двумя транзисторами, в которой первый VT1 включен по схеме с общим эмиттером, а второй VT2 - по схеме с общей базой (рисунок 3,а).

Выходной сигнал снимается с транзистора VT2. По постоянному току транзисторы могут быть включены как последовательно так и параллельно. Однако первый вариант проще и поэтому чаще применяется на практике.

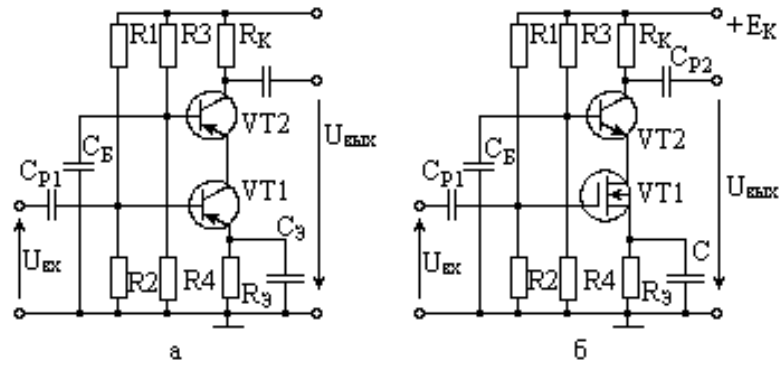


Рисунок 3 - Принципиальные схемы каскодных усилителей

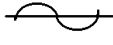
Для получения большой величины выходного напряжения транзистор **VT2** выбирается с высоким рабочим напряжением коллектор-база. Транзистор **VT1** выбирается с малым напряжением коллектор-эмиттер. Напряжение питания при этом не делят поровну между транзисторами **VT1** и **VT2**, как это делается в бестрансформаторных двухтактных каскадах усиления мощности, а подают на транзистор **VT1** напряжение лишь достаточное для его нормальной работы.

Достоинством транзисторной каскодной схемы является практически полное исключение влияние изменения сопротивления нагрузки на входное сопротивление каскада. Изменение входного сопротивления при изменении сопротивления нагрузки здесь в $10^2 - 10^3$ раз меньше, чем у обычного усилительного каскада с общим эмиттером. Эта особенность каскодных схем обуславливает их применение в усилительных устройствах, где наблюдается колебание сопротивления нагрузки в широких пределах, например, в усилителях с резонансными контурами.

Широкое распространение получили комбинированные каскодные схемы на биполярных и полевых транзисторах (рисунок 3,б). В таком каскаде при сохранении всех достоинств каскодной схемы происходит повышение входного сопротивления благодаря выполнению входного плеча на полевом транзисторе.

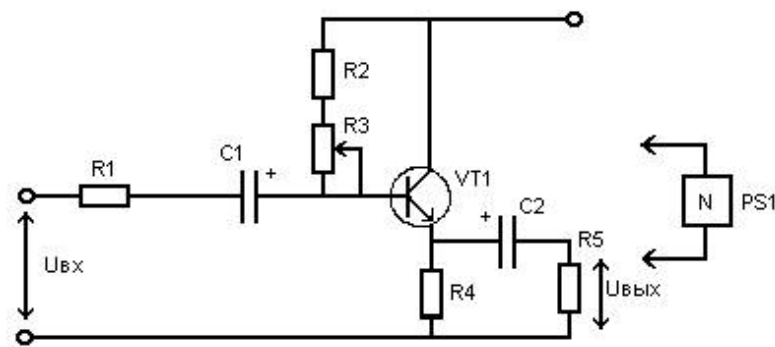
Лабораторная работа

Лабораторная работа по исследованию, эмиттерного повторителя проводится в следующей последовательности:

- 2.1. Собрать схему согласно рисунка 4.
- 2.2. Установить на блоке БП необходимое напряжение питания и подключить схему к гнездам «+15V» «0» и « U_m ».
- 2.3. Установить на блоке ГС переключатель формы сигнала в положение  ручками и переключателями «V» и «Hz» - амплитуду синусоидального сигнала 2 V частотой 1000 Hz;

- 2.4. Изменяя сопротивление резистора R3, добиться неискаженного сигнала на нагрузке R5 (выбор рабочей точки транзистора);
- 2.5. Изменяя амплитуду входного сигнала от 0 до 2 V измерить с помощью осциллографа напряжение U_{R1} и $U_{\text{ВЫХ}}$ (амплитудное значение).
- 2.6. Установить на блоке ПГС частоту сигнала 10000 Hz и измерить с помощью осциллографа напряжение U_{R1} и $U_{\text{ВЫХ}}$.
- 2.7. По данным измерений построить амплитудные характеристики $U_{\text{ВЫХ}} = F(U_{\text{ВХ}})$ и вычислить коэффициент усиления по напряжению K_u , току K_I и мощности K_p :

$$K_u = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}; K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}; I_{\text{ВХ}} = \frac{U_{R1}}{R1}; I_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R5}; K_p = K_u K_I.$$



C1, C2 - конденсатор 10 μF , 16 V; R1 - резистор 1 к Ω ; R2 - резистор 8,2 к Ω ; R3 - резистор переменный 47 к Ω ; R4 - резистор 1 к Ω ; R5 - резистор 1,5 к Ω ; VT1 - транзистор КТ315А; PS1 - осциллограф.

Рисунок 4

3 Контрольные вопросы

- 3.1. Что такое эмиттерный повторитель?
- 3.2. Как вычисляется коэффициент усиления по напряжению эмиттерного повторителя?
- 3.3. Для каких схем эмиттерного повторителя входное сопротивление значительно больше, чем в аналогичном каскаде с коллекторной нагрузкой?
- 3.4. Что такое истоковый повторитель?
- 3.5. Как вычисляется коэффициент усиления истокового повторителя?
- 3.6. На какие параметры схемы истокового повторителя влияет наличие отрицательной обратной связи по напряжению?
- 3.7. Каким коэффициентом усиления по току обладает истоковый повторитель?
- 3.8. Где применяют истоковый повторитель?
- 3.9. С какой целью применяют фазоинверсные каскады?

- 3.10. Как соединены вторичные обмотки трансформатора?
- 3.11. Какими основными недостатками обладают трансформаторные инверсные каскады?
- 3.12. Почему часто между предоконечным и окончным мощным двухтактным каскадами помещают так называемый фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой?
- 3.13. Что называем каскодной схемой?
- 3.14. Какими достоинствами обладает транзисторная каскодная схема?
- 3.15. Что представляют собой фазочувствительные усилители?
- 3.16. Что представляет собой нагрузка фазочувствительных усилителей?
- 3.17. Какие схемы фазочувствительных усилителей вы знаете?
- 3.18. Как работает усилитель на туннельных диодах?
- 3.19. Как включается туннельный диод в схемах усилителей?

4 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 4.1. Титульный лист.
- 4.2. Схему рисунка 4.
- 4.3. Зависимость напряжения U_{R1} и $U_{ВЫХ}$ от амплитуды входного сигнала.
- 4.4. Значения U_{R1} и $U_{ВЫХ}$.
- 4.5. Графики амплитудных характеристик $U_{ВЫХ} = F(U_{ВХ})$ и вычисленные коэффициенты усиления по напряжению K_u , току K_I и мощности K_p :

$$K_u = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}; \quad K_I = \frac{I_{ВЫХ}}{I_{ВХ}}; \quad I_{ВХ} = \frac{U_{R1}}{R1}; \quad I_{ВЫХ} = \frac{U_{ВЫХ}}{R5}; \quad K_p = K_u K_I.$$

- 4.6. Выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ RC-ГЕНЕРАТОРА

Цель работы:

-изучение основных схем RC-генераторов;
-ознакомление с методами измерения основных характеристик RC-генераторов и определения квазирезонансных частот.

Сведения из теории

1. 1 RC- генераторы с самовозбуждением

С понижением частоты генерируемых колебаний увеличиваются величины индуктивности и емкости LC-генераторов. Это увеличивает активное сопротивление обмотки катушки и токи утечки конденсатора, а следовательно снижает добротность контура и приводит к искажениям генерируемых колебаний. Поэтому на низких частотах нашли применение RC-автогенераторы, в которых усилители охватываются частотно-зависимой обратной связью через RC-цепи различного вида. В RC-генераторах используются Г-образный RC-четырёхполюсник, двойной Т-образный мост и так называемые RC-цепи типа R-параллель и С-параллель.

1.1.1 RC -генераторы с фазовым сдвигом в цепи обратной связи

В автогенераторах этого типа в цепи обратной связи включаются трех- или четырехзвенные RC-цепи, которые могут иметь два варианта - R-параллель и С-параллель.

Схема трехзвенной RC-цепи R-параллель представлена на рисунке 1,а, а С-параллель - на рисунке 1,б.

Коэффициент затухания (величина обратная коэффициенту передачи) цепи R-параллель определяется выражением

$$\alpha_R = 1 - \frac{5}{\omega^2 R^2 C^2} + j \frac{1}{\omega RC} \left(\frac{1}{\omega^2 R^2 C^2} - 6 \right),$$

а для цепи С-параллель выражением

$$\alpha_C = 1 - 5\omega^2 R^2 C^2 + j\omega RC(\omega^2 R^2 C^2 - 6).$$

Частотная и фазовая характеристики цепи R-параллель представлена на рисунке 1, в, а цепи С-параллель - на рисунке 1,г.

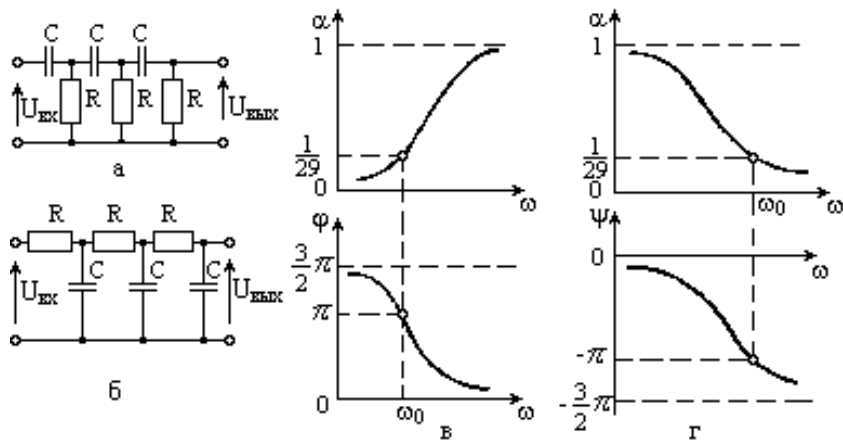


Рисунок 1 - Принципиальные схемы и характеристики трёхзвенных RC-цепей

Как видно из этих графиков, модуль коэффициента передачи и фазовый сдвиг меняются в широких пределах, т. е. цепи не обладают выраженной избирательностью к частоте входного сигнала. Однако, на некоторой частоте $\omega_{0R} = \frac{1}{RC\sqrt{6}}$ для цепи R-параллель и частоте $\omega_{0C} = \frac{\sqrt{6}}{RC}$ для цепи C-параллель фазовый сдвиг между выходным и входным напряжениями равен 180° , а модуль коэффициента передачи равен $\alpha_R = \alpha_C = \frac{1}{29}$.

Если эти цепочки включить в цепь отрицательной обратной связи усилителя, суммарный фазовый сдвиг схемы на частоте ω будет равен нулю, т.е. выполнится условие баланса фаз. Условие баланса амплитуд выполнится при коэффициенте усиления, равном 29. На рисунке 2,а представлена простейшая схема RC-генератора с RC-цепью R-параллель. В этой схеме сопротивление последнего звена RC-цепи определяется сопротивлением резистора R_3 и входного сопротивления каскада. Необходимая величина коэффициента усиления каскада выбирается регулированием глубины отрицательной обратной связи при помощи резистора R_5 .

Недостатком схемы является то, что входное сопротивление усилителя шунтирует выход цепочки, в результате чего нарушается условие баланса амплитуд и генерация становится неустойчивой. Этому недостатка лишена схема, в которой входной каскад усилителя выполняется на эмиттерном повторителе (рисунке 2,б). Применение в RC-автогенераторе с фазовым сдвигом в цепи обратной связи операционного усилителя позволяет улучшить условия генерирования гармонических колебаний (рисунке 2,в).

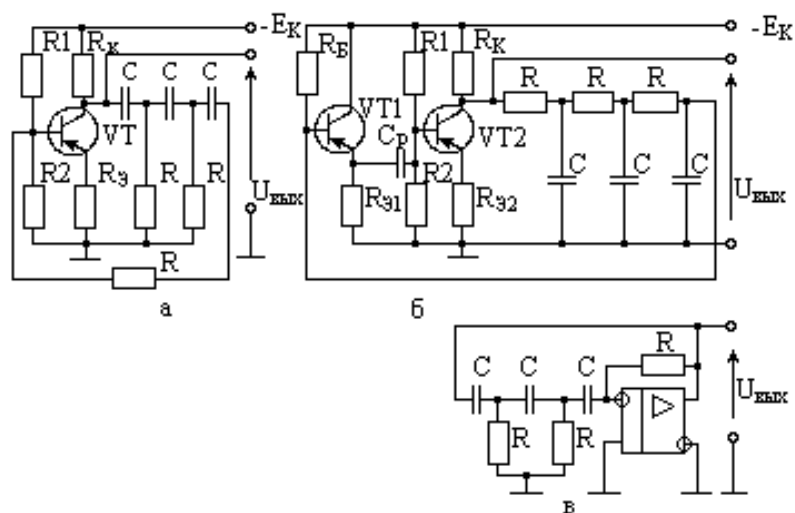


Рисунок 2 - Принципиальные схемы автогенераторов с фазовым сдвигом в цепи обратной связи

1.1.1 RC -генератор с Г-образным четырехполюсником в цепи обратной связи

Г-образный RC-четырёхполюсник включается в цепь положительной обратной связи усилителя. В качестве усилителя в таком генераторе обычно используются двухкаскадные схемы с включением биполярных транзисторов с общим эмиттером (рисунок 3,а) либо полевых транзисторов с общим истоком. Применение однокаскадных схем усилителей в этом случае невозможно. В каскадах с общим эмиттером или с общим истоком сдвиг по фазе между выходным и входным сигналом равен 180° , что исключает, с применением Г-образного RC-четырёхполюсника, выполнение баланса фаз. Схемы с общим коллектором или общим истоком хотя и не переворачивают фазы сигнала, но имеют коэффициент усиления напряжения меньше единицы, в результате чего в схеме с Г-образным RC-четырёхполюсником в цепи обратной связи не выполнится условие баланса амплитуд. Усилительные каскады с общей базой или общим затвором имеют очень малое входное сопротивление, которое при введении обратной связи через Г-образный RC-четырёхполюсник шунтирует выход четырёхполюсника, уменьшая его коэффициент передачи. Поэтому выполнение условия баланса оказывается весьма затруднительным.

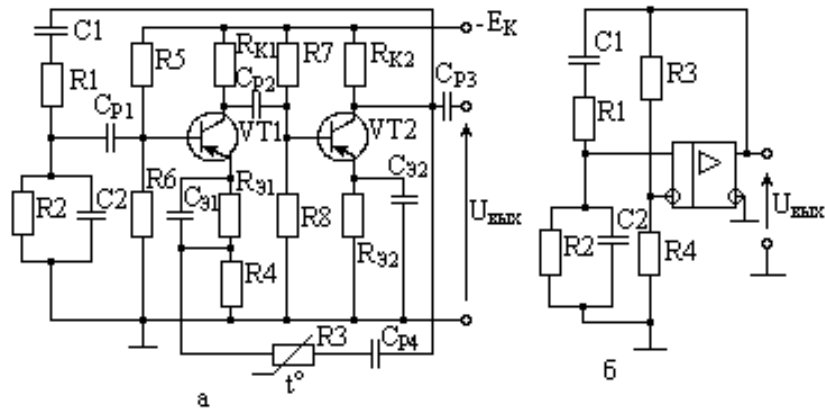


Рисунок 3 - Принципиальные схемы автогенераторов с Г-образным RC-четырёхполюсником

Коэффициент передачи симметричного Г-образного RC-четырёхполюсника равен $\frac{1}{3}$. Следовательно, для выполнения условия баланса амплитуд в схеме на рисунок 3,а усилитель должен иметь коэффициент усиления равный 3. Так как в двухкаскадном усилителе, выполненном по схеме с общим эмиттером, $K \gg 1$, то для уменьшения коэффициента усиления до величины $K_{oc} = 3$ усилитель охватывается отрицательной обратной связью через делитель напряжения R_3R_4 . При этом $K_{oc} = \frac{K}{1 + \beta K}$, где $\beta = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$ - коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи; K - коэффициент усиления усилителя при разомкнутой цепи обратной связи. Так как $K \gg 1$, то из последнего выражения следует, что $K_{oc} \approx \frac{1}{\beta}$ и, следовательно, K_{oc} будет равно трем, если выполнится условие $R_3 = 2R_4$.

Обычно в качестве элемента R_3 применяется терморезистор, что позволяет обеспечить стабильность амплитуды генерируемых колебаний.

На рисунке 3,б представлена схема автогенератора с Г-образным RC-четырёхполюсником в цепи обратной связи на операционном усилителе.

Большим достоинством рассмотренных автогенераторов является простота регулировки частоты генерируемых колебаний в широком диапазоне частот одновременным изменением величины сопротивлений резисторов R_1R_2 , либо величины емкостей конденсаторов C_1C_2 .

1.1.1 RC -генератор с двойным Т-образным мостом в цепи обратной связи

Двойной Т-образный мост включается в цепь отрицательной обратной связи усилителя. Поэтому для выполнения условия баланса фаз усилитель следует охватить частотно-независимой положительной обратной связью. На час-

тоте квазирезонанса двойного Т-образного моста, благодаря свойствам последнего, отрицательная обратная связь в схеме практически исчезнет, выполнится условие баланса амплитуд и схема перейдет в автоколебательный режим.

Двойной Т-образный мост следует нагружать на высокоомную нагрузку. Поэтому лучшими параметрами обладают автогенераторы, в которых применены усилители на полевых транзисторах (рисунок 4,а) либо операционные усилители (рисунок 4,б).

В схеме на рисунке 4,а положительная обратная связь выполнена на терморезисторе R_4 . Применение терморезистора обеспечивает в схеме режим мягкого самовозбуждения и повышает стабильность амплитуды генерируемых колебаний. В схеме на рисунке 4,б положительная обратная связь выполнена при помощи делителя напряжения R_5R_6 .

В схеме на рисунке 4, а положительная обратная связь выполнена на терморезисторе R_4 . Применение терморезистора обеспечивает в схеме режим мягкого самовозбуждения и повышает стабильность амплитуды генерируемых колебаний. В схеме на рисунке 4,б положительная обратная связь выполнена при помощи делителя напряжения R_5R_6 .

Регулировку частоты генерируемых колебаний осуществляют изменением величин сопротивлений всех резисторов, либо емкостей всех конденсаторов с соблюдением соотношений между ними.

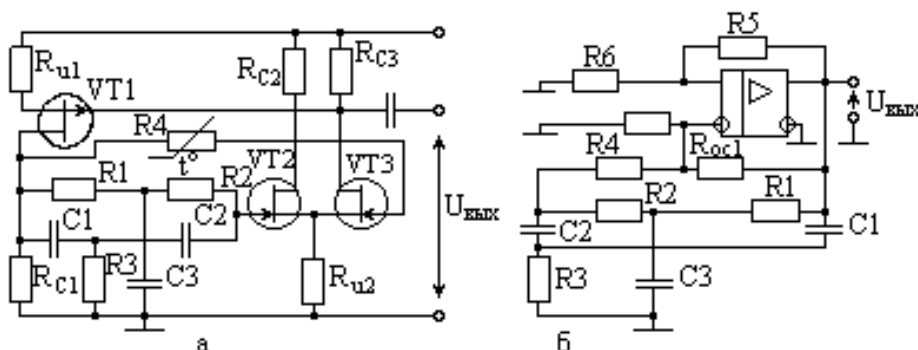


Рисунок 4 - Принципиальные схемы автогенераторов с двойным Т-образным RC-мостом

Лабораторная работа

Лабораторная работа по исследованию RC-генератора проводится в следующей последовательности:

2.1. Собрать схемы трехзвенных фазосдвигающих RC-цепочек согласно рисунков 5 и 6.

2.2. Подать от блока ПГ на вход схемы синусоидальные сигналы амплитудой 5 В, снять зависимость изменения амплитуды выходного сигнала $U_{вых}$ от изменения частоты входного сигнала F .

2.3. По данным измерений построить частотные характеристики фазосдвигающих цепочек $U_{\text{вых}} = f(F)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$;

2.4. Вычислить по данным схем квазирезонансные частоты RC-цепочек;

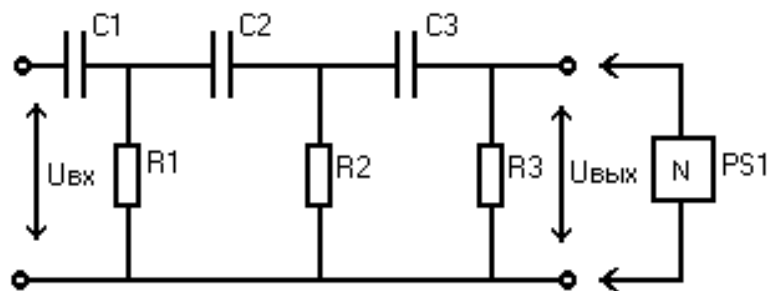
для цепочки-«R-параллель» — $F_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1 \sqrt{6}}$;

для цепочки «C-параллель» — $F_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi R_1 C_1}$.

2.5. Определить из графика частотной характеристики квазирезонансные частоты цепочек при коэффициенте передачи цепочки:

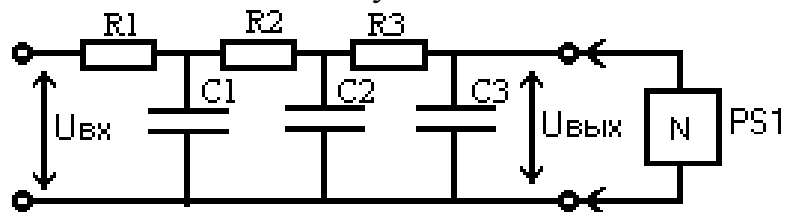
$$\beta_0 = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{1}{29},$$

сравнить их с вычисленными.



C1,C2,C3 - конденсатор 3300 pF; R1,R2,R3 - резистор 8,2 кΩ; PS1 - осциллограф.

Рисунок 5



C1,C2,C3 - конденсатор 3300 pF; R1,R2,R3 - резистор 8,2 кΩ; PS1 - осциллограф.

Рисунок 6

2.6. Собрать схему согласно рисунка 7.

2.7. Установить необходимое напряжение питания на блоке ПГ, а затем подключить схему к гнездам «+15 V», «0».

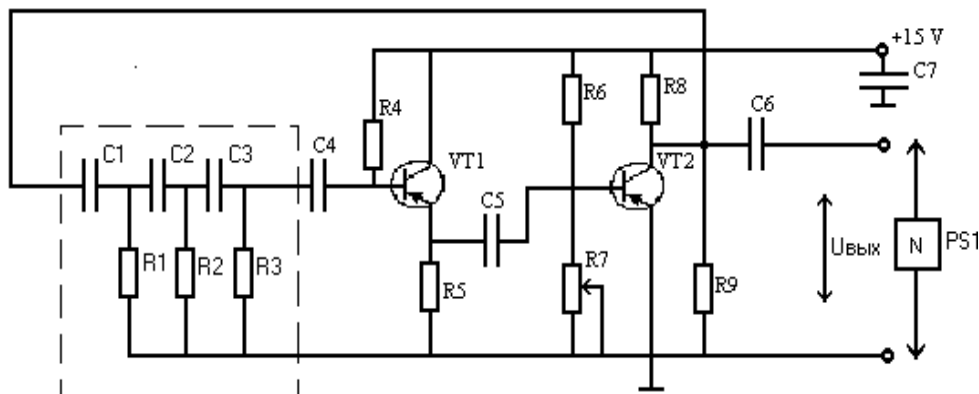
2.8. Подключить на вход схемы осциллограф и убедиться в наличии генерации синусоидальных колебаний.

2.9. С помощью резистора R7 добиться на выходе максимального по амплитуде неискаженного синусоидального сигнала.

2.10. Зарисовать осциллограмму выходного сигнала и определить амплитуду и период генерируемых колебаний, вычислить частоту колебаний:

$$F = \frac{1}{T}$$

C1,C2,C3- конденсатор 3300 pF; C4-конденсатор 0,1 μF; C5 - конденсатор 0,22 μF; C6- конденсатор 0,47 μF; C7- конденсатор 0,22 μF; R1,R2,R3- резистор 8,2 кΩ;R4 - резистор 150 кΩ; R5 - резистор 15 кΩ; R6 - резистор 150 кΩ; R7 - резистор переменный 47 кΩ; R8 - резистор 22 кΩ; R9- резистор 10 кΩ;VT1,VT2 - транзистор КТ315А; PS1-осциллограф.



стор переменный 47 кΩ; R8 - резистор 22 кΩ; R9- резистор 10 кΩ;VT1,VT2 - транзистор КТ315А; PS1-осциллограф.

Рисунок 7

3 Контрольные вопросы

- 3.1. С какой целью применяют RC -генераторы с фазовым сдвигом в цепи обратной связи?
- 3.2. На каких частотах нашли применение RC-автогенераторы?
- 3.3. Что собой представляют R-параллель и C-параллель?
- 3.4. Что собой представляют коэффициенты затухания для цепи R-параллель и цепи C-параллель?
- 3.5. Что собой представляют частотная и фазовая характеристики цепи R-параллель и цепи C-параллель?
- 3.6. Как изменяются модуль коэффициента передачи и фазовый сдвиг?
- 3.7. С какой целью цепочки включают в цепь отрицательной обратной связи усилителя?
- 3.8. С какой целью применяют операционные усилители?
- 3.9. С какой целью включается в цепь Г-образный RC-четырёхполюсник?
- 3.10. Объяснить назначение и принцип действия автогенератора с Г-образным RC-четырёхполюсником в цепи обратной связи на операционном усилителе.
- 3.11. Объяснить назначение и принцип действия RC - генератор с двойным Т-образным мостом в цепи обратной связи?

4 Требования к содержанию отчета

Отчет должен содержать:

- 4.1. Титульный лист.
- 4.2. Тему и цель работы.
- 4.3. Схемы рисунков 5 и 6.
- 4.4. Зависимость изменения амплитуды выходного сигнала $U_{\text{вых}}$ от изменения частоты входного сигнала F .
- 4.4. График частотных характеристик фазосдвигающих цепочек $U_{\text{вых}} = f(F)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$.
- 4.5. Вычисленные по следующим формулам квазирезонансные частоты RC-цепочек:
для цепочки-«R-параллель» — $F_0 = \frac{1}{2\pi R1C1\sqrt{6}}$;
для цепочки «C-параллель» — $F_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi R1C1}$;
- 4.6. Определенные из графиков частотных характеристик квазирезонансные частоты цепочек при коэффициенте передачи цепочки $\beta_0 = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{1}{29}$ и сравнение их с вычисленными.
- 4.7. Схему рисунка 7.
- 4.8. Зарисованные осциллограммы выходного сигнала и определенные амплитуды, период генерируемых колебаний и вычисленные частоты колебаний
$$F = \frac{1}{T}.$$
- 4.9. Выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЮ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА

Цель работы:

- изучение электронных схем диодных, транзисторных ключей и режимов их работы;
- экспериментальное исследование транзисторных ключей.

Сведения из теории

Электронный ключ - это элемент, который под воздействием управляющих сигналов, изменяющихся во времени по заданному закону, осуществляет различные коммутации (включение и выключение) внешних цепей. В статическом режиме ключевое устройство находится в одном из двух состояний - включенном (замкнутом) и выключенном (разомкнутом). При этом предполагается, что сопротивление замкнутого ключа равно нулю, а разомкнутого - бесконечно велико.

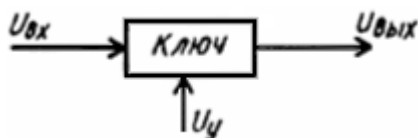


Рисунок 1 - Структурная схема электронного ключа

Качество электронного ключа определяется следующими основными параметрами: падением напряжения на ключе в разомкнутом состоянии; током через ключ в замкнутом состоянии; временем перехода (переключения) ключа из одного состояния в другое. Чем меньше все эти величины, тем выше качество ключа.

Структурная схема электронного ключа представлена на рисунке 1. Ключ имеет вход, выход и управляющий вход. В электронных ключах часто входной сигнал выполняет функции управляющего. Для построения электронных ключей используются транзисторы, электронные лампы, полупроводниковые диоды, тиристоры.

В качестве входных, выходных и управляющих сигналов в электронных ключах могут быть выбраны импульсы напряжения или уровни напряжения (потенциалы). В связи с этим различают импульсные, потенциальные и потенциально-импульсные ключевые схемы.

Диодные ключи

Диодные ключи представляют собой простейший тип электронных ключей. Различают последовательные, параллельные и двойные диодные ключи. На рисунке 2, а - принципиальная схема последовательного диодного ключа, а на рисунке 2, б - его амплитудная характеристика.

Выходное напряжение электронного ключа определяется

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} \frac{R}{R + R_{\text{д}}},$$

где $R_{\text{д}}$ - внутреннее сопротивление диода. При положительном входном сигнале диод открыт, его внутреннее сопротивление $R_{\text{д}} \ll R$ и выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$, т. е. выходной сигнал повторяет форму и величину входного. При отрицательном входном напряжении диод закрыт, $R_{\text{д}} \ll R$ и $U_{\text{ВЫХ}} = 0$. Если изменить полярность включения диода, то амплитудная характеристика рисунка 2, б повернется на 180° . Схеме рисунка 2,а соответствует нулевой уровень входного напряжения, открывающего диод (нулевой уровень включения). Для изменения уровня включения последовательно с диодом и резистором вводят источник напряжения смещения E .

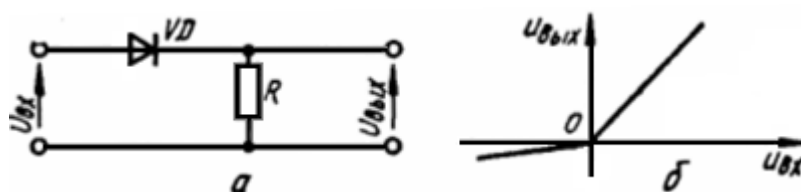


Рисунок 2 - Принципиальная схема и амплитудная характеристика последовательного диодного ключа с нулевым уровнем включения

На рисунка 3,а представлена схема ключа с ненулевым уровнем включения, в котором изменение выходного напряжения происходит от некоторого начального уровня E , а на рис. 3,б - его амплитудная характеристика. Штриховой линией (рисунок 3,б) показана характеристика схемы, в которой полярность источника E изменена на противоположную.

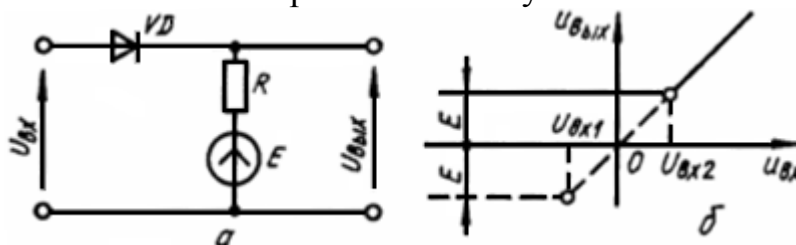


Рисунок 3 - Принципиальная схема и амплитудная характеристика последовательного диодного ключа с ненулевым уровнем включения

На рисунке 4, а и б - схема и амплитудная характеристика ключа с ненулевым уровнем включения, в котором изменение выходного напряжения начинается от значения $U_{\text{ВЫХ}} = 0$.

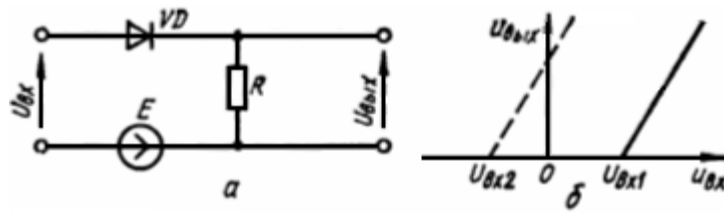


Рисунок 4 - Принципиальная схема и амплитудная характеристика последовательного диодного ключа с ненулевым уровнем включения

Схема параллельного диодного ключа приведена на рисунке 5,а. Ключ обладает амплитудной характеристикой, показанной на рисунке 5,б. Выходное напряжение определяется выражением

$$u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} \frac{R}{R + R_{\text{д}}},$$

где $R_{\text{д}}$ - внутреннее сопротивление диода. При положительном входном напряжении диод открыт, его внутреннее сопротивление $R_{\text{д}} \ll R$ и выходное напряжение $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$, т. е. выходной сигнал повторяет форму и величину входного. При отрицательном входном напряжении диод закрыт, $R_{\text{д}} \ll R$ и $U_{\text{вых}} = 0$. Если изменить полярность включения диода, то амплитудная характеристика на рисунке 5, б повернется на 180° .

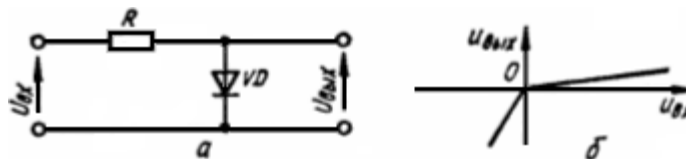


Рисунок 5 - Принципиальная схема и амплитудная характеристика параллельного диодного ключа с нулевым уровнем включения

Для получения параллельных диодных ключей с ненулевым уровнем включения применяются схемы с дополнительными источниками напряжения смещения E . Варианты схем ключей со смещением и их амплитудные характеристики представлены на рисунках 6 и 7. Штриховой линией на рисунках 6,б и 7,б показаны амплитудные характеристики схем ключей при изменении полярности источника смещения E .

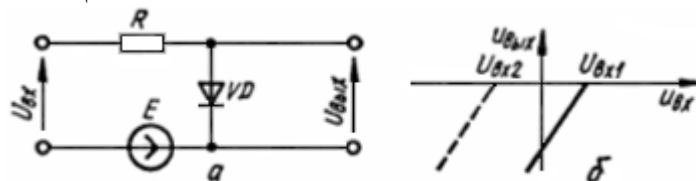


Рисунок 6 - Принципиальная схема и амплитудная характеристика параллельного диодного ключа с ненулевым уровнем включения

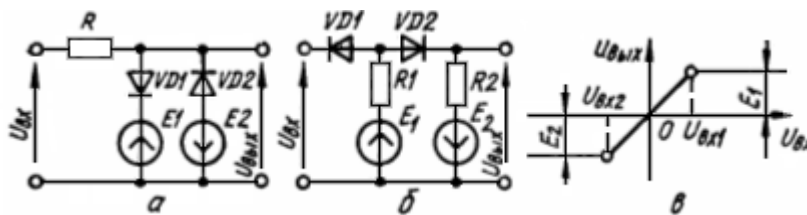


Рисунок 7 - Принципиальная схема и амплитудная характеристика параллельного диодного ключа с ненулевым уровнем включения

На рисунке 8, а и б принципиальные схемы двойных диодных ключей, которые построены на основе параллельных и последовательных ключей, рассмотренных выше. Эти ключи передают входной сигнал на выход, если входное напряжение находится в пределах границ, определяемых уровнями включения $U_{вх1}$ первого и $U_{вх2}$ второго ключей (рисунок 8,в).

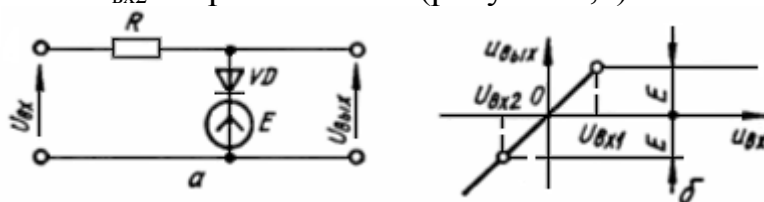


Рисунок 8 - Принципиальные схемы и амплитудная характеристика двойных диодных ключей

Для повышения быстродействия ключей нужно уменьшить их время переключения. Это достигается на практике применением малоинерционных диодов, например, диффузионных, у которых время выключения примерно равно 0,05 мкс (обычные диоды имеют время выключения $\geq 0,5$ мкс).

Транзисторные ключи

В транзисторных ключах, в отличие от диодных, управляющая и управляемая цепи разделены. Транзистор в ключе обычно включается по схеме с общим эмиттером. Так как выходное и входное напряжения при таком включении сдвинуты по фазе на 180° , то такой ключ называется транзисторным ключом-инвертором. Существуют также еще повторяющие ключи, в которых транзистор включается по схеме с общим коллектором.

Насыщенный ключ

Принципиальная схема транзисторного ключа с общим эмиттером представлена на рисунке 9,а. В этой схеме используются два стационарных состояния — полностью открытое состояние транзистора и полностью закрытое состоя-

ние транзистора. При этом рабочая точка транзистора перемещается по линии нагрузки каскада из области насыщения в область отсечки и обратно (рисунок 9,б). Первое состояние транзистора определяется точкой А и называется режимом насыщения, а второе состояние - точкой В и называется режимом отсечки.

Если транзистор необходимо перевести в режим отсечки, то на базе его нужно обеспечить напряжение $U_{бэ} \geq 0$. При этом через цепь базы будет протекать ток i_b , наибольшая величина которого будет определяться максимальным начальным током коллекторного перехода $I_{к0}$. Тогда величина напряжения на базе будет равна $U_{бэ} = U_{вх} - I_{к0} R_b$ и, следовательно, величина входного напряжения, обеспечивающая режим отсечки ключа, должна выбираться из условия $U_{вх} \geq I_{к0} R_b$.

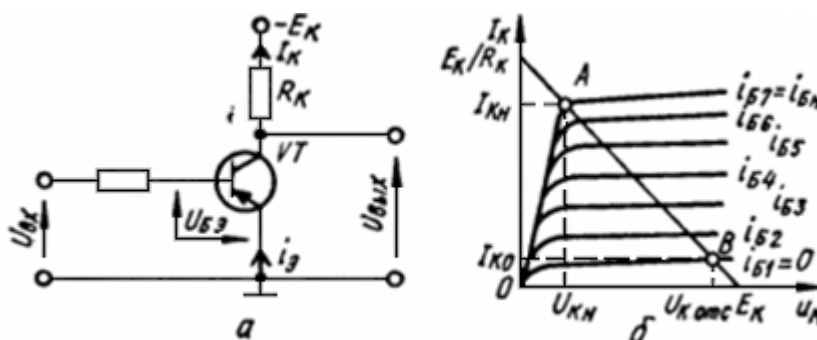


Рисунок 9 - Принципиальная схема и выходные характеристики насыщенного транзисторного ключа

При переходе транзистора в режим насыщения ток базы

$$i_b \geq I_{бн} = \frac{I_{кн}}{\beta},$$

где $I_{бн}$ - ток базы транзистора на границе насыщения; $I_{кн}$ - ток коллектора транзистора на границе насыщения; β - коэффициент усиления транзистора по току. Токи насыщения транзистора определяются по схеме рисунка 9,а:

$$I_{кн} = \frac{E_K - |U_{кн}|}{R_K} \approx \frac{E_K}{R_K},$$

$$I_{бн} = \frac{I_{кн}}{\beta} \approx \frac{I_{кн}}{\beta R_K},$$

где $U_{кн}$ - напряжение коллектор - эмиттер в режиме насыщения (обычно имеет порядок нескольких десятков милливольт). Рассмотренный ключ называется насыщенным.

Во многих практических случаях применения транзисторных ключей транзистор в режиме отсечки рассматривают как генератор начального тока $I_{к0}$ коллекторного перехода, а в режиме насыщения - как эквипотенциальную точку, т. е. точку с единым потенциалом всех электродов.

При насыщении транзистора в реальных ключах в базе концентрируется избыточный заряд неосновных носителей заряда. Поэтому при переключении схемы требуется определенное время для их рассасывания, что ухудшает быстродействие ключа.

Ненасыщенный ключ

Ненасыщенный ключ выполняется по ключевой схеме с нелинейной обратной связью (рисунок 10). При подаче на вход схемы отпирающего перепада напряжения $U_{вх}$ начинает расти коллекторный ток i_K . При этом диод VD будет заперт до тех пор, пока напряжение $U_{вых}$ по мере роста i_K не станет равным $|U_{вых}| = |U_{БЭ}| + i_B r$. После чего диод открывается и его внутреннее сопротивление R_d становится значительно меньше R_K : $R_d \ll R_K$. В результате, почти все приращение коллекторного тока после отпираания диода поглощается цепью обратной связи, и выходной ток остается постоянным. Для приращений токов можно записать

$$\Delta i_{ВХ} = \Delta i_B + \Delta i_D$$

После отпираания диода

$$\Delta i_D \sim \Delta i_K = \Delta \beta i_B,$$

тогда $\Delta i_{ВХ} = \Delta i_B + \beta \Delta i_B$, или $\Delta i_B = \Delta i_{ВХ} / (1 + \beta)$

Отсюда следует, что после отпираания диода базовый ток изменяется в значительно меньшей степени, чем входной. Если обеспечить отпираание диода при достижении транзистором границы насыщения, то входной ток может достигать больших значений, но ток базы, а, следовательно, и распределенный заряд в базе, сохраняются примерно такими же, как на границе насыщения. После прекращения действия входного сигнала транзистор запирается. Сравнительно небольшой распределенный заряд базы рассасывается быстро, что позволяет повысить максимальную частоту переключения ключа.

Рассмотренный ключ называется ненасыщенным.

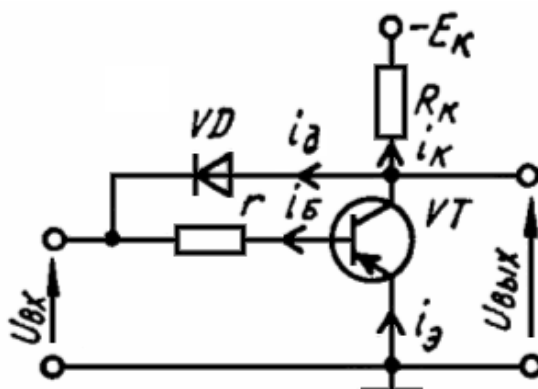

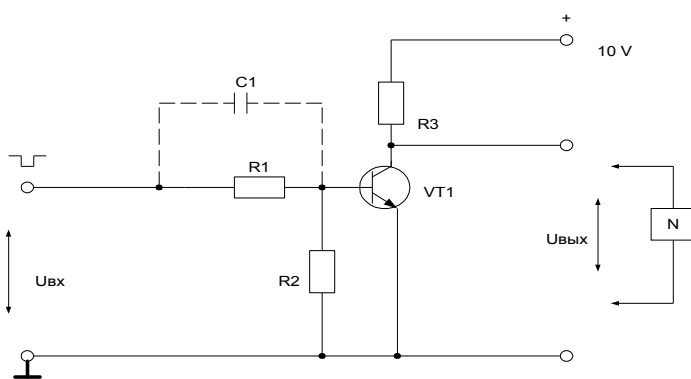


Рисунок 10 - Принципиальная схема ненасыщенного транзисторного ключа

Лабораторная работа

Лабораторная работа по исследованию транзисторного ключа проводится в следующей последовательности:

- 2.1. Собрать схему согласно рисунку 11.
- 2.2. Установить необходимое напряжение на блоке БП и затем подключить схему к гнездам "+15 V", "0", "U_м".
- 2.3. Установить на блоке ГС переключатель формы сигналов в положение "  " и подключить к выходу осциллографа.
- 2.4. Подключить на выход схемы сигналы прямоугольной формы амплитудой 3V длительностью 1мс и зарисовать осциллограмму выходного напряжения транзисторного ключа (при U_{вх} = 0 выходное напряжение равно напряжению питания схемы).



C1 - конденсатор 3300 μ F; R1 - резистор 2,2 k Ω ; R2 - резистор 1 k Ω ; R3 - резистор 4,7 k Ω ; VT1 - транзистор КТ315А; PS1 - осциллограф.

Рисунок 11

3 Контрольные вопросы

- 3.1. Какой элемент называют электронным ключом?
- 3.2. Какие основные параметры характеризуют электронный ключ?
- 3.3. Что представляют собой диодные ключи?
- 3.4. Какие схемы диодных ключей вы знаете?
- 3.5. Что представляют собой транзисторные ключи?
- 3.6. Что представляют собой насыщенный ключ?
- 3.7. Что называется режимом насыщения?
- 3.8. Что представляют собой ненасыщенный ключ?
- 3.9. Определите величину выходного напряжения в последовательном диодном ключе, представленном на рис. 2, а при положительном и отрицательном входном напряжении, если U_{вх}=1В, R = 20 кОм, внутреннее сопротивление открытого диода (т. е. прямое сопротивление) R_{д пр}=50 Ом, внутреннее сопротивление закрытого диода (т. е. обратное сопротивление) R_{д обр} =1 МОм, сопротивление нагрузки, подключенной параллельно резистору R, равно R_н=20 кОм.

3.10. Определите величину выходного напряжения в параллельном диодном ключе, приведенном на рис. 5,а, при положительном и отрицательном входном напряжении, если ($U_{вх} = 1В$, $R=20$ кОм, внутреннее сопротивление открытого диода (т. е. прямое сопротивление) $R_{д пр}=50$ Ом, внутреннее сопротивление закрытого диода (т. е. обратное сопротивление) $R_{д обр}= 1$ МОм, сопротивление нагрузки, подключенной параллельно диоду, равно $R_n= 20$ кОм.

3.11. Поясните в сравнении особенности насыщенного и ненасыщенного транзисторных ключей.

3.12. Постройте схему диодного ключа, позволяющего осуществить выделение отрицательных импульсов из последовательности разнополярных импульсов.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1.1. Титульный лист.
- 1.2. Цель работы.
- 4.2. Схему рисунка 11.
- 4.3. Осциллограммы выходного напряжения транзисторного ключа.
- 4.4. Выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ-ОГРАНИЧИТЕЛЯ

Цель работы:

- изучение принципов работы и схем усилителей-ограничителей;
- изучение методов измерения основных параметров усилителей-ограничителей.

Сведения из теории

Ограничителем называют нелинейный четырехполюсник, который ограничивает выходное напряжение на определенном уровне, если входное напряжение выходит за заданные уровни ограничения. В качестве ограничителей используются ключи. Ограничители еще иногда называют формирователями напряжения.

1.1 Основные определения

Входные напряжения, которые определяют границы ограничения, называют уровнями ограничения входного напряжения. Выходные напряжения, устанавливающиеся в области ограничения, называются уровнями выходного напряжения при ограничении. Двухсторонние ограничители называются ограничителями сверху и снизу (по максимуму и минимуму). Односторонние ограничители обеспечивают ограничение только сверху (по максимуму) или только снизу (по минимуму).

Принцип работы схем ключей как ограничителей не отличается от работы самих ключей. Отличие состоит только в другом их функциональном применении.

1.2 Применение ограничителей

На рисунке 1 представлены графики, характеризующие ограничение синусоидального напряжения сверху с помощью параллельного диодного ключа. На рисунке 2 показано двухстороннее ограничение этого напряжения при помощи двойных диодных ключей. Как следует из графиков, таким образом можно формировать напряжение трапецеидальной формы из синусоидального.

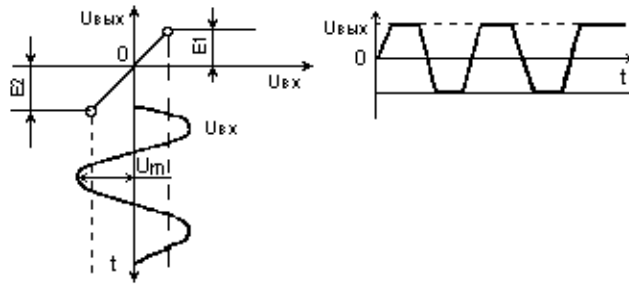


Рисунок 1 - Временные диаграммы ограничения синусоидального напряжения сверху

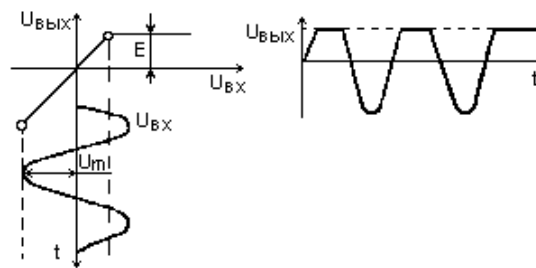


Рисунок 2 - Временные диаграммы ограничения синусоидального напряжения сверху

Другое применение ограничителей показано на рисунках 3 и 4. Здесь при помощи ключей осуществляют укорочение длительности фронтов реальных прямоугольных импульсов и сглаживание вершины импульса, искаженного помехой. Ограничители широко применяются для выделения импульсов по амплитуде (рисунки 5 и 6) и выделения импульсов заданной полярности (рисунок 7).

Если в схеме ограничителей применяются транзисторные ключи, то одновременно с ограничением происходит усиление напряжения сигнала. Поэтому такие схемы называют усилителями-ограничителями.

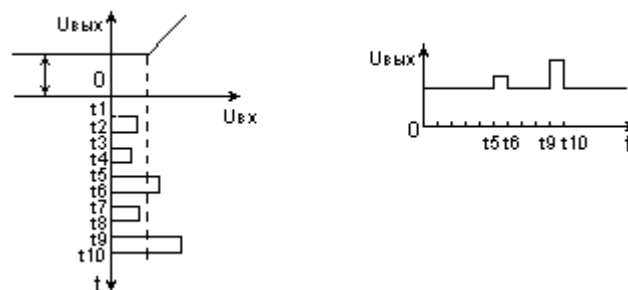


Рисунок 3 - Временные диаграммы укорочения длительности фронтов реальных прямоугольных импульсов

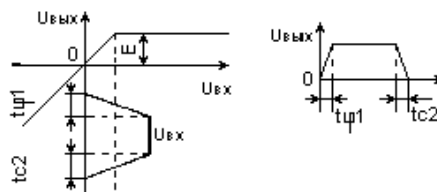


Рисунок 4 - Временные диаграммы сглаживания вершины импульса

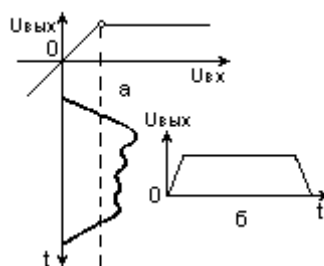


Рисунок 5 - Временные диаграммы выделения импульсов по амплитуде

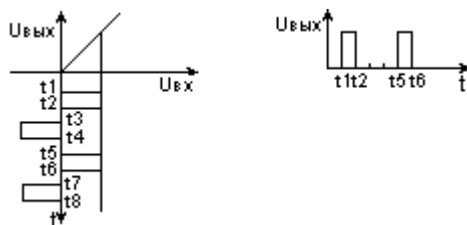


Рисунок 6 - Временные диаграммы выделения импульсов по амплитуде

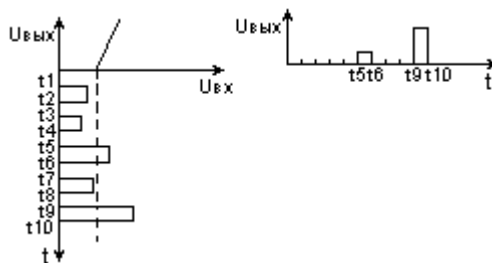


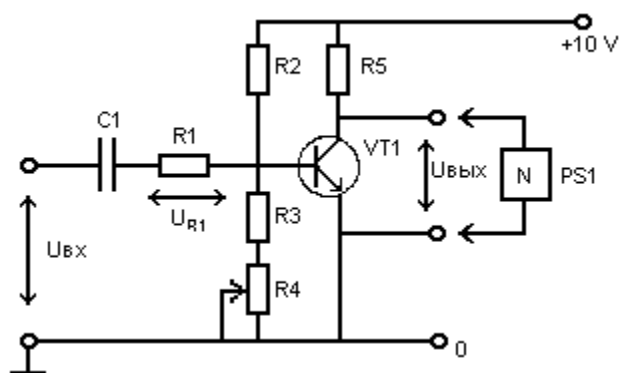
Рисунок 7 - Временные диаграммы выделения импульсов по полярности

Ограничители широко применяются для выделения импульсов по амплитуде (рисунки 5 и 6) и выделения импульсов заданной полярности (рисунок 7). Если в схеме ограничителей применяются транзисторные ключи, то одновременно с ограничением происходит усиление напряжения сигнала. Поэтому такие схемы называют усилителями-ограничителями.

Лабораторная работа

Лабораторная работа по исследованию усилителя-ограничителя проводится и следующей последовательности:


2.1. Собрать схему согласно рисунка 8.



C1 - конденсатор-3300 pF; R1 - резистор 8.2 кΩ; R2 - резистор 150 кΩ; R3 - резистор 15 кΩ; R4 - резистор переменный 47 кΩ; R5 - резистор 8,2 кΩ; VT1 - транзистор КТ315А; PS1 - осциллограф.

Рисунок 8

2.2. Установить необходимое напряжение питания на блоке БП, затем подключить схему к гнездам «+15 V», «0», «U_m».

2.3. Установить на блоке ГС переключатель формы сигналов в положение  и подключить на вход схемы осциллограф.

2.4. Подать на вход схемы синусоидальное напряжение амплитудой 0,5 - 1 V частотой 1000 Hz.

2.5. Изменяя сопротивления резистора R4 и выходное напряжение, добиться симметричного двухстороннего ограничения сигнала.

2.6. Подавая на вход схемы сигналы амплитудой от 250 mV до 3 V частотой 1000, 10000 Hz, измерить амплитуду выходного сигнала, длительность импульса и фронта (для ограниченного сигнала) и зарисовать осциллограммы.

3 Контрольные вопросы

- 3.1. Что называется ограничителем?
- 3.2. Что называют уровнем ограничения входного напряжения?
- 3.3. Что называют уровнем выходного напряжения при ограничении?
- 3.4. В чем заключается принцип работы схем ключей как ограничителей?
- 3.5. Перечислите применение ограничителей.
- 3.6. Определите величину выходного напряжения в последовательном диодном ключе при положительном и отрицательном входном напряжении, если $U_{вх}=1В$, $R=20\text{ кОм}$, внутреннее сопротивление открытого диода (т. е. прямое сопротивление) $R_{д пр}=50\text{ Ом}$, внутреннее сопротивление закрытого диода (т. е. обратное сопротивление) $R_{д обр}=1\text{ МОм}$, сопротивление нагрузки, подключенной параллельно резистору R , равно $R_H=20\text{ кОм}$.
- 3.7. Определите величину выходного напряжения в параллельном диодном ключе при положительном и отрицательном входном напряжении, если ($U_{вх}=1В$, $R=20\text{ кОм}$, внутреннее сопротивление открытого диода (т. е. прямое сопротивление) $R_{д пр}=50\text{ Ом}$, внутреннее сопротивление закрытого диода (т. е. обратное сопротивление) $R_{д обр}=1\text{ МОм}$, сопротивление нагрузки, подключенной параллельно диоду, равно $R_H=20\text{ кОм}$).
- 3.8. Поясните в сравнении особенности насыщенного и ненасыщенного транзисторных ключей.
- 3.9. Постройте схему диодного ключа, позволяющего осуществить выделение отрицательных импульсов из последовательности разнополярных импульсов. Проиллюстрируйте работу ограничителя графически.

Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 4.1. Титульный лист.
- 4.2. Тему и цель работы.
- 4.3. Схему рисунка 8.
- 4.4. Значения измеренных амплитуд выходного сигнала, длительности импульса и фронта (для ограниченного сигнала) от 250 мВ до 3 В частотой 1000 , 10000 Hz .
- 4.5. Зарисованные осциллограммы.
- 4.6. Выводы по работе.