

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

Составитель
Роман Витальевич Котляров

СХЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ (МДК 03.01)

Методические материалы к практическим занятиям

Рекомендовано цикловой методической комиссией специальности
СПО 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт
электронных приборов и устройств в качестве электронного
издания для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты: Григорьев А. В. – канд. тех. наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»
Шаулева Н. М. – канд. тех. наук, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», председатель цикловой методической комиссии специальности СПО 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств

Котляров Роман Витальевич

Схематическое проектирование электронных приборов и устройств (МДК 03.01) : методические материалы к практическим занятиям для обучающихся специальности СПО 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств, очной формы обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра электропривода и автоматизации ; сост. Р. В. Котляров. – Кемерово : КузГТУ, 2025. – 1 файл (1115 Кб). – Текст : электронный.

Приведен теоретический и практический материал, необходимый для успешного изучения дисциплины.

Методические материалы по дисциплине «Схематическое проектирование электронных приборов и устройств» (МДК 03.01) содержат перечень практических занятий, содержание практических и самостоятельных занятий, список учебно-методических материалов.

© Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2025

© Котляров Р. В., составление, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Практическое занятие № 1 Исследование диодных ограничителей последовательного типа	6
Практическое занятие № 2 Исследование диодных ограничителей параллельного типа	8
Практическое занятие № 3 Исследование ограничителей на стабилитронах.....	9
Практическое занятие № 4 Исследование переходных процессов в RC-цепях.....	12
Практическое занятие № 5 Исследование влияния переходных процессов на форму прямоугольных импульсов.....	13
Практическое занятие № 6 Исследование свойств биполярного транзистора	16
Практическое занятие № 7 Исследование работы усилительного каскада	19
Практическое занятие № 8 Исследование работы транзистора в ключевом режиме.....	22
Практическое занятие № 9 Исследование эмиттерного повторителя на транзисторе.....	25
Практическое занятие № 10 Исследование симметричного мультивибратора, работающего в автоколебательном режиме.....	27
Практическое занятие № 11 Исследование работы мультивибратора в ждущем режиме.....	29
Практическое занятие № 12 Исследование работы симметричного и несимметричного триггера.....	32
Практическое занятие № 13 Исследование генератора линейно изменяющегося напряжения	36
Практическое занятие № 14 Диодные ограничители на ОУ	38
Практическое занятие № 15 Формирователи импульсов на ОУ	40
Практическое занятие № 16 ГЛИН на операционном усилителе	43

Практическое занятие № 17 Мультивибратор в автоколебательном режиме на ОУ	44
Практическое занятие № 18 Компаратор на ОУ	47
Практическое занятие № 19 Синхронный RS-триггер.....	48
Практическое занятие № 20 Исследование работы мультиплексора	51
Самостоятельная работа	53
ЛИТЕРАТУРА	54

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Схематическое проектирование электронных приборов и устройств» является приобретение обучающимися знаний в области проектирования электронных устройств, расчёта режимов работы электронных схем и отдельных компонентов, знаний о протекающих в электронных элементах процессов, принципах преобразования форм и величин сигналов, навыков компьютерного моделирования электронных схем и процессов в них.

Основными задачами изучения дисциплины «Схематическое проектирование электронных приборов и устройств» являются:

- навыки построения электронных схем.
- способность анализировать протекающие в электронных схемах процессы;
- навыки выполнения расчётов режимов работы электронных элементов и схем;
- навыки выполнения расчётов, а также анализа изменения форм и величин протекающие в электронных схемах сигналов.

Практическое занятие № 1

Исследование диодных ограничителей последовательного типа

Цель занятия: систематизировать знания о применении диодов в качестве ограничителей амплитуды и изменения формы сигнала.

Теоретический материал

Простейшим диодным ограничителем последовательного типа является схема однополупериодного выпрямителя. Если входной сигнал является переменным, то в такой схеме на выходе получим полусинусоидальные импульсы. Амплитуда их будет определяться амплитудой входного сигнала, а длительность будет близка к половине периода. Для регулирования амплитуды и длительности выходных импульсов в последовательную цепь включают источник управляющего напряжения. При данной полярности этот источник препятствует открыванию диода в положительный полупериод входного сигнала. Поскольку U_y препятствует открыванию диода, то открывание его произойдет в момент времени, когда напряжение сигнала положительной полуволны начнет превышать величину управляющего напряжения. При этом к нагрузке будет приложена разность E_c и U_y . Закрывание же диода произойдет, когда E_c станет $< U_y$.

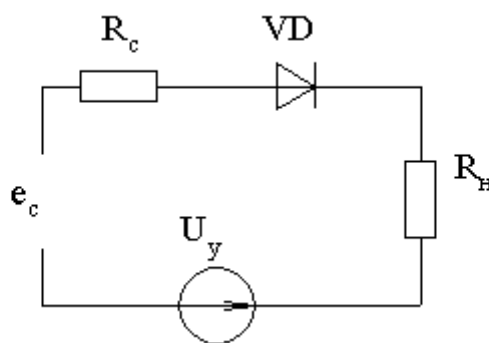


Рис. 1.1 Схема последовательного диодного ограничителя.

В результате на нагрузке будем иметь импульсы меньшей амплитуды и меньшей длительности. Причем, чем больше U_y , тем меньше амплитуда и длительность. Если поменять полярность U_y , то она будет способствовать открыванию диода. При нулевом значении E_c диод будет уже открыт, а момент открывания его будет соответ-

ствовать еще отрицательному входному сигналу, но превышающего уже U_y . При этом к нагрузке будет приложена сумма E_c и U_y . Закрывание диода произойдет в момент, когда E_c будет более отрицательно, чем U_y . На нагрузке будут импульсы большей амплитуды и длительности. Длительность будет больше полупериода. Чем больше величина отрицательного управляющего напряжения, тем больше амплитуда и длительность.

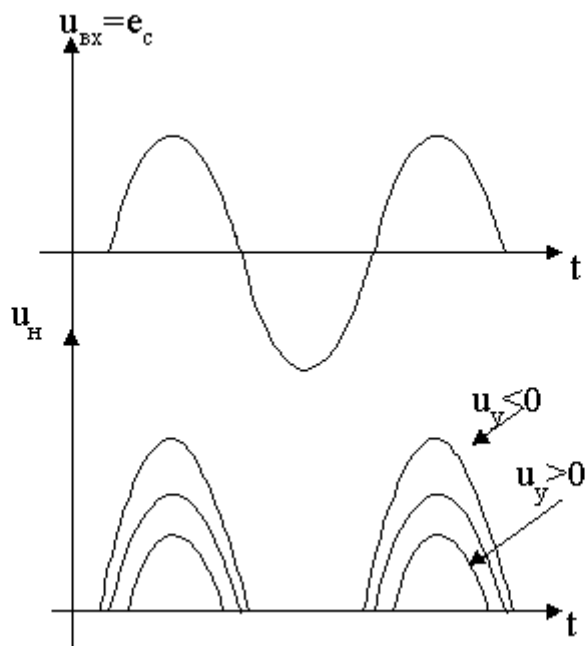


Рис. 1.2 Графики напряжения источника ЭДС и выходного напряжения диодного ограничителя.

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему последовательного диодного ограничителя.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Запишите измеренные параметры и изобразите эпюры напряжения до и после прохождения через ограничитель.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Принцип работы диода.
2. Величины тепловых потерь на диоде.
3. Принципы явления ограничения амплитуды.
4. Схема последовательного ограничителя по максимуму.
5. Схема последовательного ограничителя для обоих полуволн.

Практическое занятие № 2

Исследование диодных ограничителей параллельного типа

Цель занятия: систематизировать знания о применении диодов в качестве ограничителей амплитуды и изменения формы сигнала.

Теоретический материал

Основным недостатком последовательных диодных ограничителей является требование низкого внутреннего сопротивления ЭДС источника сигнала. Для ликвидации этого недостатка разработаны параллельные диодные ограничители. Такие схемы ограничителей не требуют очень низкого выходного сопротивления источника ЭДС.

Если величина входного сигнала будет меньше напряжения управления, то диод будет находиться в закрытом состоянии и не будет влиять на передачу сигнала, т.е. напряжение на нагрузке будет повторять по форме $E_{вх}$. А в моменты времени, когда $E_{вх}$ будет превышать $U_{оп}$ диод будет открыт. При этом напряжении на последовательном соединении диода и источника управляющего напряжения будет фиксировано на уровне $U_{оп}$. На таком же уровне будет находиться и напряжение на нагрузке. То есть в сигнале на нагрузке будет срезана верхняя часть синусоиды. Такое ограничение называется ограничением сверху.

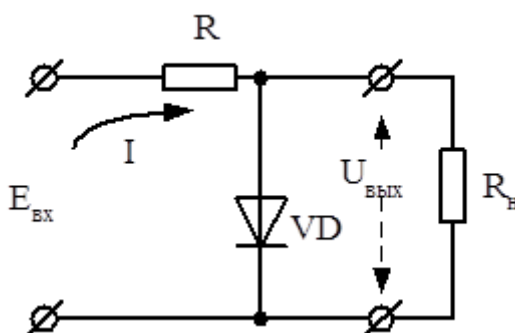


Рис. 2.1 Параллельный диодный ограничитель

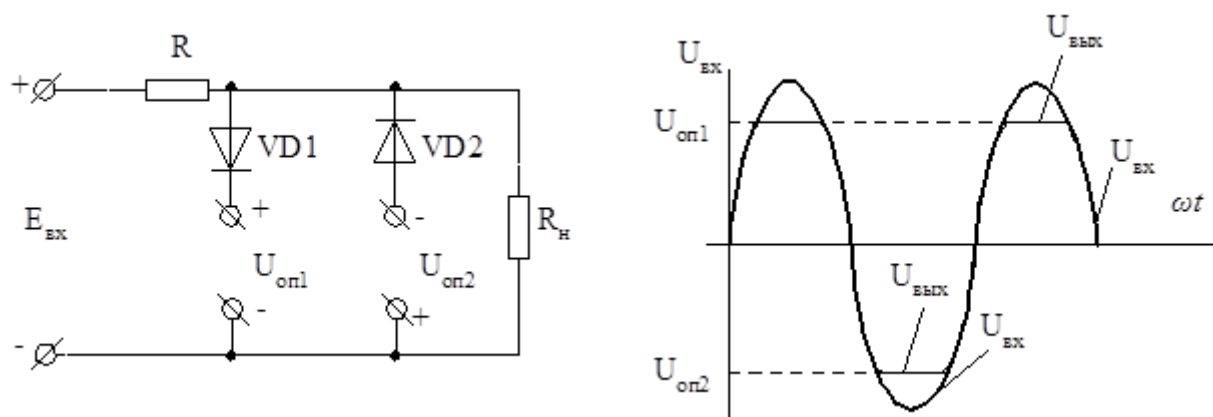


Рис. 2.2 Двухсторонний диодный ограничитель на произвольном уровне и эюры его работы

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схемы различных параллельных диодных ограничителей напряжения.
2. Проведите испытания собранных схем.
3. Запишите измеренные параметры и изобразите эюры напряжения до и после прохождения через ограничитель.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Принцип работы диода.
2. Величины тепловых потерь на диоде.
3. Принципы работы ограничителя напряжения.
4. Схема параллельного ограничителя по максимуму.
5. Схема параллельного ограничителя для обеих полуволн.

Практическое занятие № 3 Исследование ограничителей на стабилитронах

Цель занятия: Изучить виды и типы схем ограничителей напряжения с использованием стабилитрона.

Теоретический материал

Типичным видом ограничителя напряжения с использованием стабилитрона является схемы параметрического стабилизатора напряжения. Основным свойством стабилитрона, на базе которого функционирует параметрический стабилизатор напряжения, является то, что U на нем в рабочем диапазоне вольт-амперной характеристики (от $I_{ст\ min}$ до $I_{ст\ max}$) остается практически прежним. При этом изменения происходят от $U_{ст\ min}$ до $U_{ст\ max}$, однако при этом принято подразумевать, что $U_{ст\ min} = U_{ст\ max} = U_{ст}$).

Схема параметрического стабилизатора напряжения показывает, что коррекция тока нагрузки либо входного U не происходит (он сохраняет те же значения, что и на стабилитроне). Но при этом происходят изменения тока, проходящего через стабилитрон, а при изменении напряжения на входе выполняется корректировка тока,двигающегося по балластному резистору. В результате в балластном резисторе происходит гашение излишков напряжения на входе. Значение этого падения зависят от проходящего через него тока, который, в свою очередь, взаимосвязан с электротоком через стабилитрон. В силу этого любая коррекция электротока через стабилитрон напрямую отражается на величине падения U , отмечаемой в балластном резисторе.

Для того, чтобы полноценно оценить характеристики КПД, используем формулу: $\text{КПД} = (U_{ст}/U_{вх})/(1+I_{ст}/I_n)$.

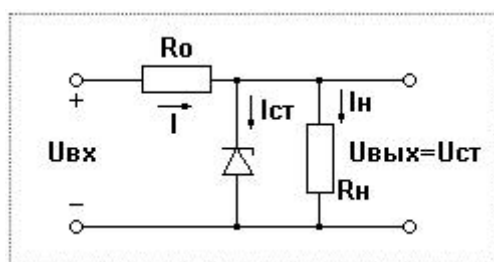


Рис 3.1 Схема параметрического стабилизатора напряжения

Она показывает, что увеличение разницы между U на входе и выходе стабилизатора соответствует повышенному значению тока через стабилитрон, что существенно ухудшает КПД.

Выполним расчёт для напряжения в 5 Вольт. Для этого используем стандартный стабилитрон, например, КС147А. Согласно характеристикам ток в нем может изменяться в диапазоне от 3 до 53 мА.

Согласно условиям, нам требуется получить область нормального функционирования, ширина которой составляет 4 Вольта. Для этого необходимо взять балластный резистор в 80 Ом. С учетом постоянного тока нагрузки используем формулу 4 (иные параметры значительно «ухудшают» положение). На основе этого можно вычислить, применяя формулу 2, расчет на какие значения тока в данной ситуации следует рассчитывать. В результате имеем 19,5 мА, причем КПД на таких условиях составит, в зависимости от U на входе, 14–61%.

Для того, чтобы просчитать максимальные значения выходного тока в этих же условиях, необходимо поменять в них значение тока с постоянного на изменяющийся в диапазоне от нуля до I_{\max} . Тогда одновременно решая уравнения 2 и 3, получаем $R_0 = 110$ Ом, $I_{\max} = 13,5$ мА. Таким образом, очевидно, что максимум тока стабилитрона в четыре раза превышает максимальное значение тока на выходе.

Недостатком параметрического стабилизатора можно назвать то, что напряжение на выходе отличается внушительной нестабильностью, напрямую завися от тока на выходе, что делает неприемлемым дальнейшую эксплуатацию прибора.

В итоге можно сказать, что параметрический стабилизатор напряжения обладает лишь одним преимуществом - простым исполнением. Благодаря этому данные устройства продолжают свое существование и даже характеризуются массовым использованием в достаточно сложных схемах, как уже отмечалось, в роли опорного источника напряжения.

Ход выполнения практической работы

1. Рассчитайте схему параметрического стабилизатора.
2. Соберите рассчитанную схему.
3. Проведите испытания собранной схемы.
4. Запишите измеренные параметры и изобразите эпюры напряжения до и после прохождения через ограничитель.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. В чем преимущества параметрического стабилизатора?
2. В чем недостатки параметрического стабилизатора?
3. Где и как может применяться параметрический стабилизатор?
4. В чем разница между стабилитроном и стабилитроном?

Практическое занятие № 4

Исследование переходных процессов в RC-цепях

Цель занятия: Изучить виды RC цепей и их влияние на сигналы несинусоидальной формы

Теоретический материал

RC цепь – это электрическая цепь, состоящая из конденсатора и резистора. Её можно рассматривать как делитель напряжения с одним из плеч, обладающих ёмкостным сопротивлением переменному току.

RC цепи бывают интегрирующими и дифференцирующими.

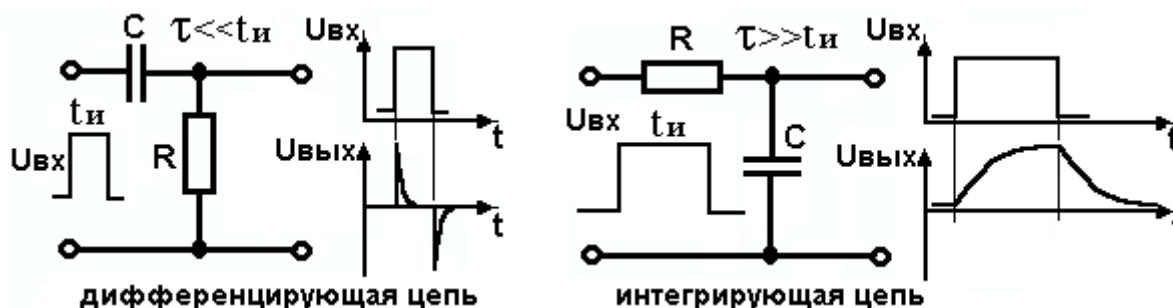


Рис 4.1 Схемы RC цепей и эпюры сигналов

Дифференцирующая RC цепь – устройство, предназначенное для дифференцирования по времени электрических сигналов. Различают пассивные и активные цепи. Пассивные применяют в импульсных и цифровых устройствах для укорачивания импульсов. Активные используют как дифференциаторы в аналоговых вычислительных устройствах.

Интегрирующая RC цепь – это электрическая цепь, в которой выходное напряжение $U_{\text{вых}}(t)$ (или ток) пропорционально интегралу

по времени от входного напряжения $U_{вх}(t)$ (или тока). Применяются для преобразования импульсов, модулированных по длительности, в импульсы, модулированные по амплитуде, для удлинения импульсов, получения пилообразного напряжения, выделения низкочастотных составляющих сигнала.

Ход выполнения практической работы

1. Рассчитайте схемы RC цепей из предложенных компонентов.
2. Проведите испытания собранных схем сигналом прямоугольной формы. Изучите эпюры на входе и выходе схемы.
3. Проведите испытания собранных схем сигналом треугольной формы. Изучите эпюры на входе и выходе схемы.
4. Проведите испытания собранных схем сигналом синусоидальной формы. Изучите эпюры на входе и выходе схемы.
5. По изученным ранее эпюрам сделайте выводы о влиянии различных RC цепей на изменение формы, амплитуды и иных параметров исходных сигналов.
6. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Возможно ли компенсировать влияние дифференциальной цепи с помощью интегральной цепи?
2. Как увеличение емкости конденсатора влияет на свойства дифференциальной цепи?
3. Как увеличение сопротивления резистора влияет на свойства интегральной цепи?
4. Какой именно элемент является определяющим для создания особых свойств у RC цепей?

Практическое занятие № 5

Исследование влияния переходных процессов на форму прямоугольных импульсов

Цель занятия: Изучить влияния переходных процессов на изменение формы у прямоугольных импульсов.

Теоретический материал

Переходные процессы возникают в электрических цепях при коммутациях (включение и отключение источника, изменение входного воздействия, изменение параметров элементов цепи, конфигурации цепи и т. д.). Длительность переходных процессов теоретически бесконечна, практически порядка $4-5T$ (T – постоянная времени переходного процесса). Они появляются в цепях, содержащей реактивные элементы, при переходе от одного стационарного состояния к другому. Возникновение переходных процессов связано с тем, что изменение энергии электромагнитного поля в реактивных элементах при переходе к новому стационарному состоянию происходит во времени плавно, без скачков. И в результате выходной ток и напряжение будут отличаться по форме от внешнего воздействия.

При изучении многих импульсных устройств приходится исследовать переходные процессы в цепях, содержащих один реактивный элемент (C или L), которые описываются неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка: $(dx / dt) * x(t) * y(t)$, где $x(t)$ – искомая функция времени (напряжение или ток);

dx / dt – постоянная времени цепи;

$y(t)$ – напряжение (ток) внешнего источника.

В лаборатории для моделирования подобных переходных процессов используется источник, формирующий последовательность прямоугольных импульсов напряжения (меандр).

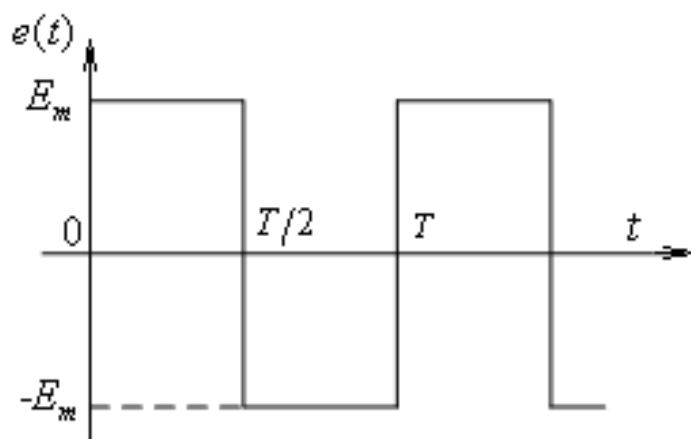


Рис 5.1 Форма прямоугольного импульса

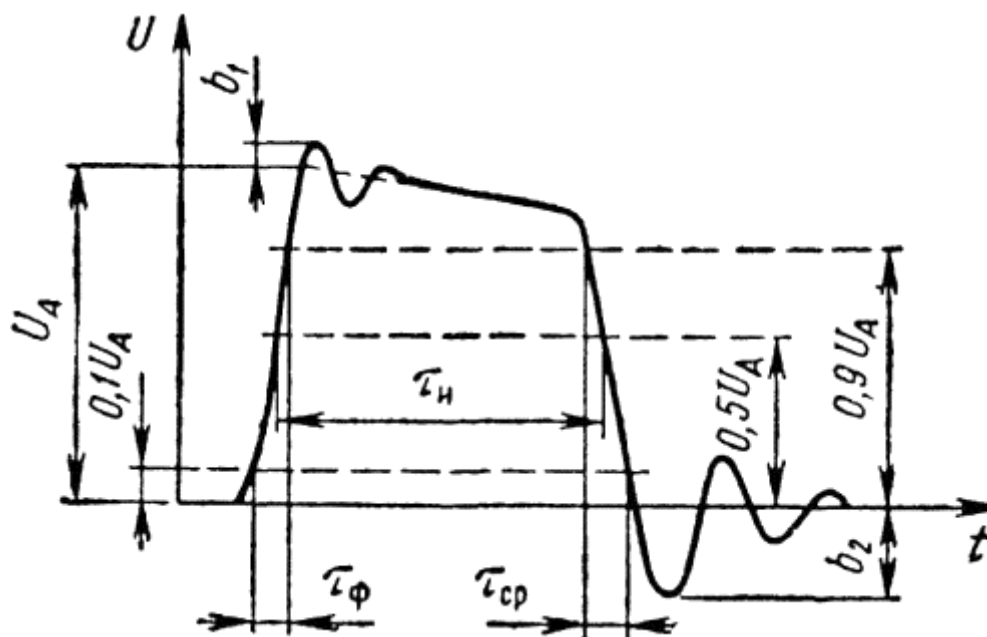


Рис 5.2 Влияние переходных процессов малой интенсивности

Ход выполнения практической работы

1. Соберите из выданных компонентов RC цепь.
2. Проведите испытания собранных схем сигналом прямоугольной формы. Изучите эпюры на входе и выходе схемы.
3. Используйте полученные ранее теоретические сведения для выполнения расчета параметров схемы.
4. Сверьте расчётные и фактические параметры величины искажения сигнала.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Насколько может быть вредным искажение формы импульса в следствии влияния на него переходных процессов?
2. Как можно уменьшить влияние переходных процессов на искажение формы сигнала?
3. Какие типы элементов называются реактивными и почему?
4. Способны ли состоящие только из резисторов цепи оказывать влияние на форму или иные параметры сигнала?

Практическое занятие № 6

Исследование свойств биполярного транзистора

Цель занятия: Изучить основные свойства и параметры биполярного транзистора.

Теоретический материал

Биполярным транзистором называется трехэлектродный прибор, основу которого составляет структура из трех слоев полупроводника с чередующимися типами проводимости. В каждом из слоев формируются невыпрямляющие (омические) контакты, посредством которых транзистор включается в электрическую цепь. Вывод от среднего слоя полупроводниковой структуры называется базой транзистора, а выводы от крайних слоев – эмиттером и коллектором.

В зависимости от порядка чередования слоев, различают биполярные транзисторы двух типов – р-п-р и п-р-п. Структура таких транзисторов и их условные обозначения на электрических схемах приведены на рис. 6.1. В биполярном транзисторе имеется два р-п перехода, один из которых (переход эмиттер – база) называется эмиттерным, а другой (переход база – коллектор) – коллекторным.

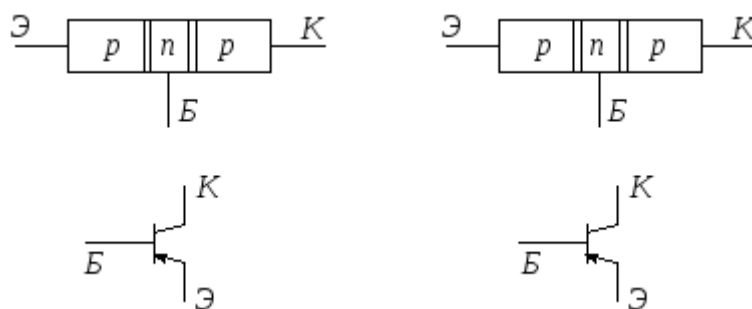


Рис. 6.1. Структура и условные обозначения биполярных транзисторов

Транзистор является прибором, позволяющим усиливать мощность поступающих в соответствующие цепи сигналов. Для работы в таком режиме эмиттерный переход с помощью источника питания смещается в прямом направлении, а коллекторный переход – в обратном. В этом случае основные носители эмиттерного слоя будут вводиться (инжектироваться) в базовую область. Далее эти носители, которые для базы являются неосновными, начнут вследствие диффузии

перемещаться к запертому коллекторному переходу, где концентрация свободных носителей практически равна нулю. Там они втянутся (экстрагируются) электрическим полем в область коллектора и будут двигаться к коллекторному выводу транзистора и далее по внешней цепи, вызывая протекание в ней тока.

В первом приближении ток, через эмиттерный переход должен быть равен току коллектора. Так как падение напряжения на открытом эмиттерном переходе составляет доли вольта, а напряжение на запертом коллекторном переходе может достигать десятков и более вольт, то мощность, выделяемая в выходной (коллекторной) цепи будет больше мощности, затрачиваемой во входной цепи на управление коллекторным током. В реальных транзисторных структурах часть инжектированных эмиттером носителей в процессе диффузии через область базы успевает рекомбинировать с основными носителями базовой области. В связи с этим ток коллектора будет меньше эмиттерного.

Для работы транзистора требуются источники питания входной и выходной цепей. В зависимости от того, какой из электродов соединен с общей точкой данных источников, различают три основные схемы включения транзистора (рис. 6.2). Они называются: схема с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК). Параметры и усилительные свойства транзистора определенным образом связаны со схемой его включения.

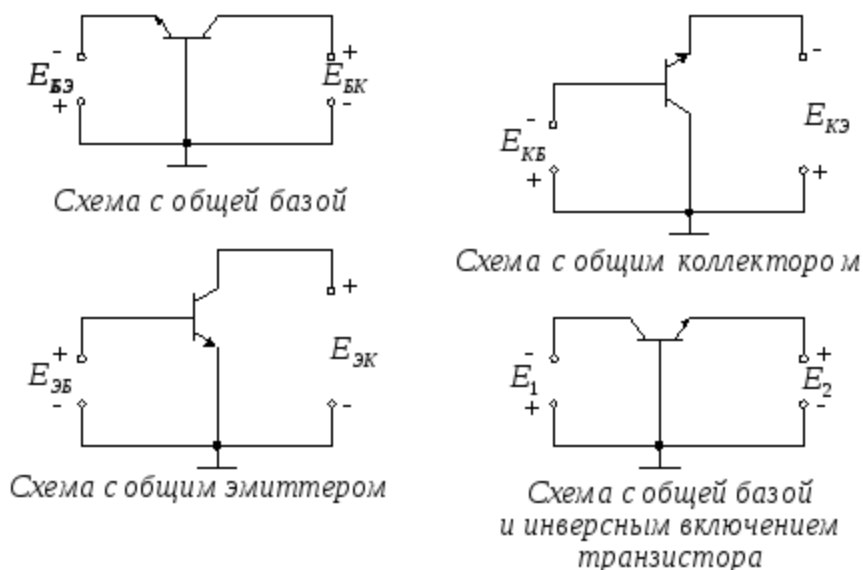


Рис. 6.2 Схемы включения биполярного n-p-n транзистора.

На приведенном рисунке представлены схемы включения транзистора n-p-n типа. При использовании второй разновидности биполярных транзисторов полярность источников питания должна быть изменена на противоположную.

Связь токов и напряжений во входной цепи транзистора при его включении с ОБ, называемая входной характеристикой, представлена на рисунке 6.3. Если выход коллектора отсоединен от соответствующего источника питания, то в этом случае работает лишь переход эмиттер–база, представляющий собой аналог обычного полупроводникового диода. Его вольтамперная характеристика, здесь это зависимость от будет иметь стандартный для диода вид.

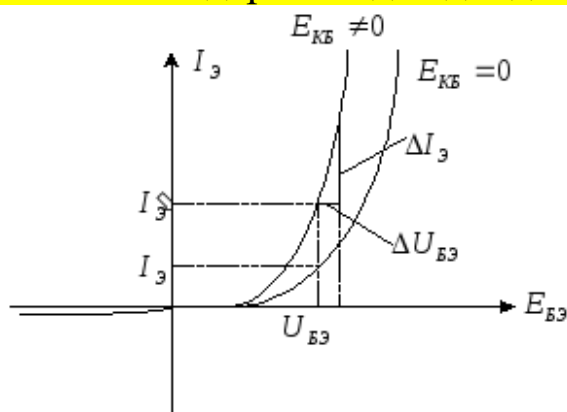


Рис. 6.3 Входные характеристики транзистора

Зависимость тока коллектора транзистора от напряжения между коллектором и базой называется выходной характеристикой. Обычно совместно строится несколько таких зависимостей, снятых при разных значениях тока эмиттера. При этом получают так называемое семейство выходных характеристик, примерный вид которого приведен на рис. 6.4.

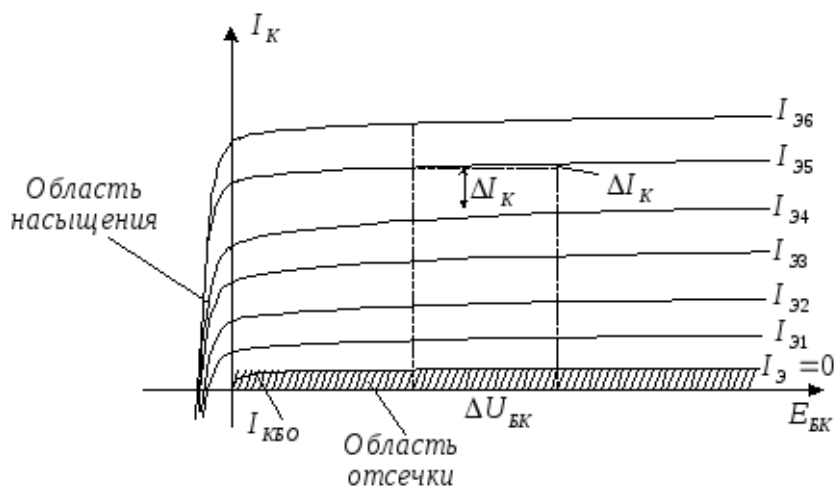


Рис. 6.4 Выходные характеристики транзистора.

Ход выполнения практической работы

1. Соберите из выданных элементов и приборов схему для снятия характеристик биполярного транзистора.
2. Проведите испытания транзистора.
3. Постройте семейства выходных и выходных графиков.
4. Рассчитайте основные параметры транзистора.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Где можно применить транзистор?
2. Как влияет температура на параметры транзистора?
3. В чем недостатки транзистора?
4. Какие выводы можно сделать по графикам транзистора?

Практическое занятие № 7

Исследование работы усилительного каскада

Цель занятия: Изучить конструкцию и режимы работы усилительного каскада на базе биполярного транзистора.

Теоретический материал

Каскад с общим эмиттером (ОЭ) является одним из самых распространенных усилительных каскадов на биполярных транзисторах. Он получил такое название потому, что эмиттер транзистора является общим электродом для входной и для выходной цепей каскада для переменной составляющей (для сигнала). Эмиттер через малое сопротивление конденсатора C_3 соединен по переменной составляющей с общей точкой (с корпусом) и, таким образом, является общим для входной и выходной цепей. Емкость конденсатора C_3 специально подбирается такой, чтобы ее сопротивление в рабочем диапазоне частот было приблизительно равно нулю ($X_{C_3} \gg 0$).

Назначение элементов каскада. Резисторы R_1 и R_2 задают потенциал базы в режиме покоя каскада (в отсутствие сигнала) и, следовательно, участвуют в задании положения точки покоя на линии нагрузки.

Резистор R3 задает совместно с источником питания положение линии нагрузки, служит для выделения выходного сигнала и одновременно определяет коэффициент усиления каскада.

Резистор R4 в цепи эмиттера предназначен для термостабилизации режима работы каскада. При повышении температуры транзистора увеличивается ток покоя коллектора за счет возрастания числа неосновных носителей заряда в полупроводнике. Это вызывает смещение точки покоя на линии нагрузки, что может вызвать нарушение нормальной работы усилительного каскада. Термостабилизация происходит следующим образом. Например, при увеличении температуры увеличивается ток покоя коллектора I_{K0} . Это ведет к увеличению напряжения на резисторе R4 ($U_{R4} = R4 I_{K0}$). Поскольку сопротивления R1 и R2 практически не зависят от температуры, постоянное напряжение между базой и корпусом U_B при изменении температуры не изменится. Тогда, согласно уравнению, записанному по 2-му закону Кирхгофа для контура R2, $U_{BЭ}$, R4, напряжение база-эмиттер $U_{BЭ}$ уменьшится, что приведет к уменьшению тока покоя коллектора. Уменьшение тока покоя коллектора за счет действия резистора R4 не может полностью скомпенсировать его рост за счет повышения температуры, но влияние температуры на ток I_{K0} при этом во много раз снижается.

Кроме обеспечения термостабилизации, резистор R4 участвует совместно с базовым делителем, состоящим из сопротивлений R1 и R2, в создании начального смещения $U_{BЭ}$ между базой и эмиттером.

Применение резистора R4 для термостабилизации ведет к уменьшению коэффициента усиления каскада из-за возникающей при этом отрицательной обратной связи. Для ослабления этой обратной связи параллельно резистору R4 включают конденсатор C3. Емкость конденсатора C3 выбирают такой, чтобы даже на самой нижней частоте полосы пропускания каскада его сопротивление было много меньше сопротивления R4.

Конденсатор C1 разделяет по постоянному току источник сигнала и усилительный каскад.

Конденсатор C2 разделяет по постоянному току усилительный каскад и нагрузку.

Транзистор обеспечивает усиление сигнала.

Источник питания ЕП обеспечивает энергию усиления сигнала.

Каскад ОЭ инвертирует (поворачивает на 180°) фазу выходного сигнала относительно входного. Действительно, например, при нарастании напряжения входного сигнала $U_{ВХ}$ увеличивается напряжение $U_{БЭ}$. Это ведет к увеличению тока базы I_B и, следовательно, к увеличению тока коллектора. Увеличение тока коллектора ведет к уменьшению выходного напряжения (напряжения между коллектором и корпусом $U_{ВЫХ} = U_K$) и, наоборот, уменьшение тока коллектора ведет к увеличению выходного напряжения.

Каскад с общим эмиттером усиливает и напряжение, и ток, поэтому у него самый большой по сравнению с другими каскадами коэффициент усиления мощности КР. Под другими каскадами подразумеваются каскады с общим коллектором (усиливают только ток) и каскады с общей базой (усиливают только напряжение).

Основными характеристиками усилительного каскада являются амплитудная характеристика (АХ), амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазочастотная характеристика (ФЧХ).

Основными параметрами усилительного каскада являются входное и выходное сопротивления, динамический диапазон D (определяется по АХ), полоса пропускания сигнала D_f (определяется по АЧХ), нижняя f_H и верхняя f_B граничные частоты полосы пропускания.

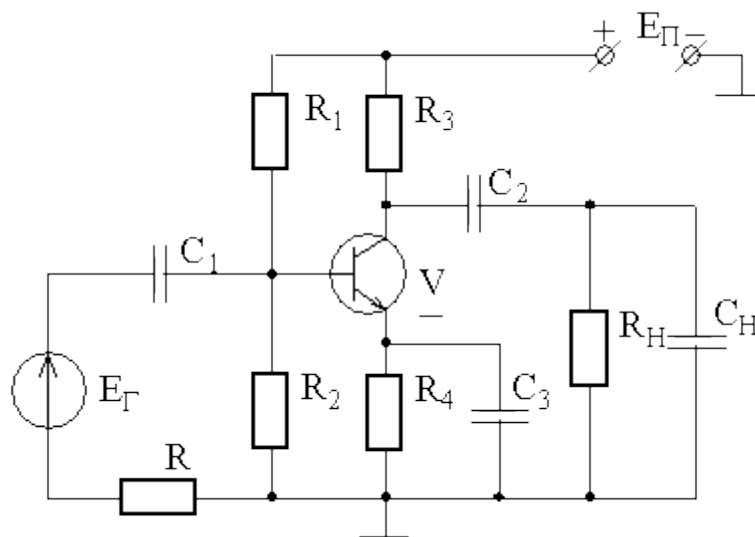


Рис 7.1 Схема усилительного каскада с общим эмиттером

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему усилительного каскада с общим эмиттером.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Запишите измеренные параметры и изобразите эпюры напряжения синусоидальной формы до и после прохождения через усилитель.
4. Рассчитайте параметры усилительного каскада.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего можно применять усилительный каскад с общим эмиттером?
2. В чем недостатки усилительного каскада с общим эмиттером?
3. В чем достоинства усилительного каскада с общим эмиттером?
4. Какие элементы усилительного каскада с общим эмиттером можно убрать, сохранив при этом его основную функцию?

Практическое занятие № 8 Исследование работы транзистора в ключевом режиме

Цель занятия: Изучить особенности работы транзистора в ключевом режиме.

Теоретический материал

Можно представить транзистор в виде переменного резистора. Вывод базы – это есть как раз та самая ручка, которую можно крутить. При этом изменяется сопротивление участка коллектор – эмиттер. Это достигается подачей некоторого напряжения относительно эмиттера.

Если напряжение не подавать вовсе, а просто взять и замкнуть выводы базы и эмиттера пусть даже и не накоротко, а через резистор в несколько КОм. Получается, что напряжение база – эмиттер ($U_{бэ}$)

равно нулю. Следовательно, нет и тока базы. Транзистор закрыт, коллекторный ток пренебрежительно мал, как раз тот самый начальный ток. Примерно такой же, как у диода в обратном направлении! В этом случае говорят, что транзистор находится в состоянии ОТСЕЧКИ, что на обычном языке значит, закрыт или заперт.

Противоположное состояние называется НАСЫЩЕНИЕ. Это когда транзистор открыт полностью, так, что дальше открываться уже некуда. При такой степени открытия сопротивление участка коллектор эмиттер настолько мало, что включать транзистор без нагрузки в коллекторной цепи просто нельзя, сгорит моментально. При этом остаточное напряжение на коллекторе может составить всего 0,3...0,5 В.

Чтобы довести транзистор до такого состояния, надо обеспечить достаточно большой ток базы, подав на нее относительно эмиттера большое напряжение $U_{бэ}$ – порядка 0,6...0,7 В. Да, для перехода база-эмиттер такое напряжение без ограничительного резистора очень велико. Ведь входная характеристика транзистора, показанная на рисунке 8.1, очень похожа на прямую ветвь характеристики диода.

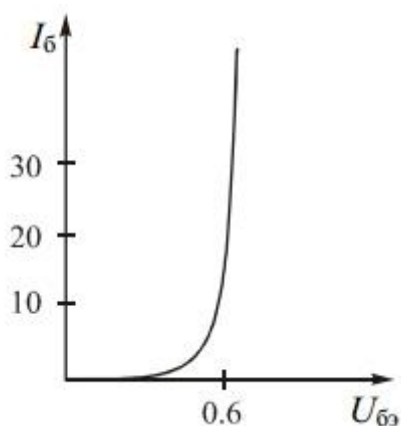


Рис. 8.1 Входная характеристика транзистора

Эти два состояния – насыщение и отсечка, используются в том случае, когда транзистор работает в ключевом режиме наподобие обычного контакта реле. Основной смысл такого режима в том, что малый ток базы управляет большим током коллектора, который в несколько десятков раз больше тока базы. Большой ток коллектора получается за счет внешнего источника энергии, но все равно усиление по току, что называется, налицо. Простой пример: маленькая микросхема способна включать большую лампочку!

Чтобы определить величину такого усиления транзистора в ключевом режиме используется «коэффициент усиления по току в режиме большого сигнала». В справочниках он обозначается греческой буквой β «бетта». Практически для всех современных транзисторов при работе в ключевом режиме этот коэффициент никак не меньше 10...20. Определяется β как соотношение максимально возможного тока коллектора к минимально возможному току базы. Величина безразмерная, просто «во сколько раз»:

$$\beta \geq I_K / I_B.$$

Даже если ток базы будет больше, чем требуется, беды особой нет: транзистор все равно не сможет открыться больше. На то он и режим насыщения. Кроме обычных транзисторов для работы в ключевом режиме используются «дарлингтоновские» или составные транзисторы. Их «супер-бетта» может достигать 1000 и более раз.

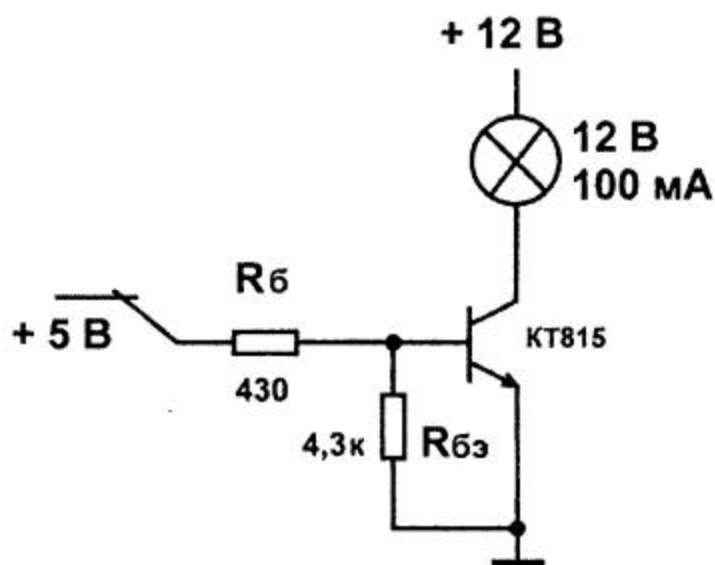


Рис 8.2 Типовая схема включения транзистора для работы в ключевом режиме

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему включения транзистора для работы в ключевом режиме.
2. Проведите испытания собранной схемы.

3. Запишите измеренные параметры и изобразите эпюры напряжения на входе и выходе схемы.
4. Рассчитайте коэффициент β .
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Какова сфера применения данной схемы?
2. Насколько полезен большой коэффициент β ?
3. Как защитить транзистор от перегрева?
4. Какой тип транзисторов наиболее выгоден для применения в подобных схемах?

Практическое занятие № 9

Исследование эмиттерного повторителя на транзисторе

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы эмиттерного повторителя на транзисторе.

Теоретический материал

Эмиттерным повторителем называют усилитель, в котором транзистор включен по схеме с общим коллектором. Поскольку внутреннее сопротивление источника питания мало, коллектор транзистора по переменной составляющей напряжения соединен с общей шиной. Резистор, с которого снимается выходное напряжение, включен в цепь эмиттера.

Коэффициент усиления напряжения близок к единице, хотя и не равен ей. Напряжение эмиттера повторяет входной сигнал. Отсюда происходит название схемы – эмиттерный повторитель. В эмиттерном повторителе отсутствует усиление напряжения, но в то же время наблюдается значительное усиление тока. Наибольшего значения, **равного чему?**, коэффициент усиления тока достигает в режиме короткого замыкания выходных зажимов. Коэффициент усиления мощности равен произведению коэффициентов усиления тока и напряжения.

Эмиттерный повторитель имеет большое входное и малое выходное сопротивления. Если на входе включен делитель напряжения, то входное сопротивление определяется сопротивлением параллельной цепочки. Для транзисторов малой и средней мощностей входное сопротивление составляет несколько килоом, а выходное – десятки ом. Эмиттерные повторители часто используют для согласования высокоомных источников усиливаемых сигналов с низкоомными нагрузками.

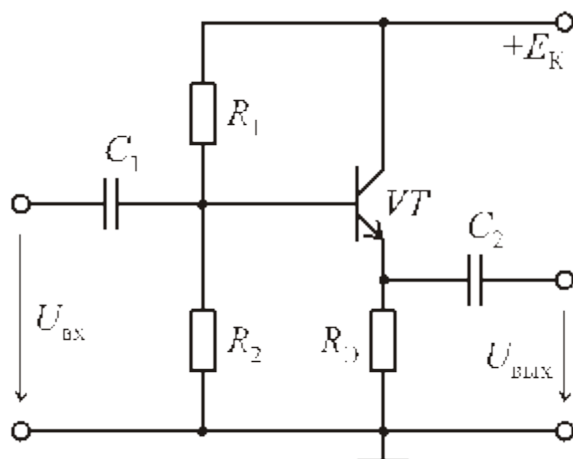


Рис. 9.1 Типовая схема эмиттерного повторителя

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему эмиттерного повторителя.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Запишите измеренные параметры и изобразите эпюры напряжения до и после прохождения через эмиттерный повторитель.
4. Рассчитайте параметры повторителя.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. В чем недостатки схемы эмиттерного повторителя?
2. В чем состоит отличие схемы эмиттерного повторителя от схемы усилительного каскада?
3. Допустимо ли применение в данной схеме транзистора с большим коэффициентом усиления?
4. Какие элементы схемы можно удалить без потери её главного свойства?

Практическое занятие № 10

Исследование симметричного мультивибратора, работающего в автоколебательном режиме

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы симметричного мультивибратора, работающего в автоколебательном режиме.

Теоретический материал

Мультивибраторы относятся к генераторам релаксационного типа, у которых форма генерируемых колебаний резко отличается от синусоидальной, а длительность колебаний зависит от реактивных элементов (чаще конденсаторов), входящих в схему. Мультивибраторы широко применяются для получения импульсов напряжения прямоугольной формы и могут быть использованы в качестве задающих генераторов различных устройств промышленной электроники.

Наиболее часто для построения мультивибраторов применяются многокаскадные транзисторные ключи с положительной обратной связью, замкнутые в кольцо. В схемном отношении мультивибраторы отличаются от триггеров наличием времязадающих элементов, которые обычно состоят из конденсатора и сопротивления.

Мультивибраторы могут работать в одном из трех режимов: автоколебаний, ждущем (заторможенном) и синхронизации (деления частоты).

В режиме автоколебаний мультивибратор имеет два состояния квазиравновесия, во время которых в схеме происходят относительно медленные изменения токов и напряжений. Квазиравновесные состояния заканчиваются лавинообразными изменениями токов и напряжений - скачками в схеме. Таким образом, в этом режиме мультивибратор без воздействия внешних сил поочередно переходит скачком из одного состояния квазиравновесия в другое, т. е. является автогенератором. Параметры генерируемых импульсов (амплитуда, длительность, частота повторения и т. д.) определяются только параметрами элементов схемы. К мультивибраторам в автоколебательном режиме предъявляется требование высокой стабильности частоты. Однако стабильность частоты мультивибраторов без применения специальных мер стабилизации сравнительно невысока. Относительная неста-

бильность частоты при воздействии дестабилизирующих факторов (колебаний температуры, напряжения питания и т. п.) достигает нескольких процентов.

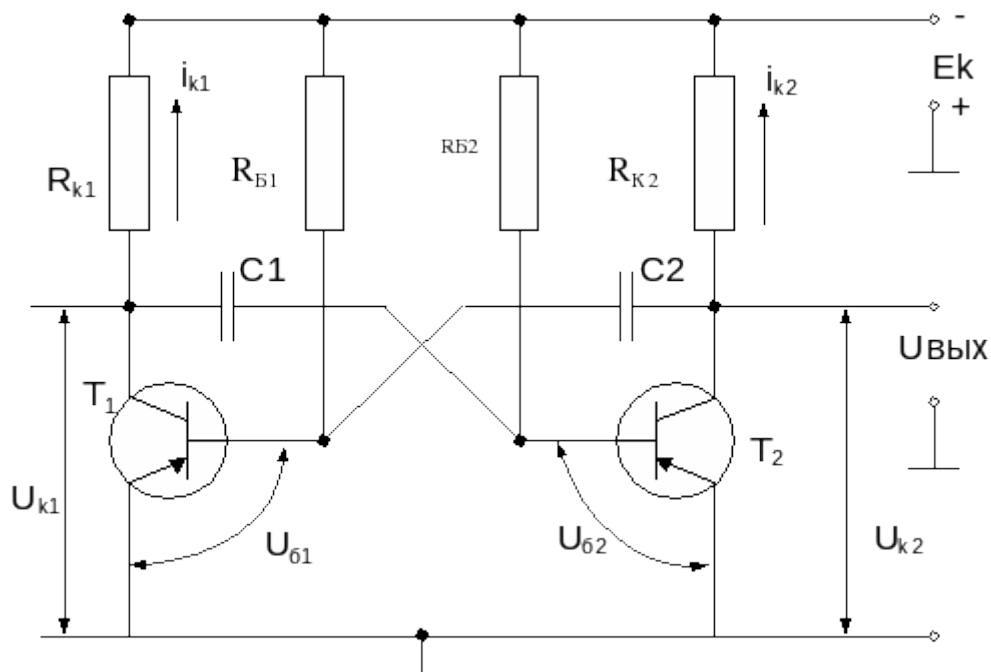


Рис. 10.1 Схема симметричного мультивибратора

Жесткий режим самовозбуждения наблюдается в мультивибраторах, когда при включении источника питания оба транзистора оказываются в насыщенном состоянии и не обладают усилительными свойствами. В этом случае условия самовозбуждения не выполняются, и автоколебания отсутствуют. Во избежание жесткого самовозбуждения, что недопустимо в задающих генераторах, необходимо предотвращать сильное насыщение транзисторов. С другой стороны, чтобы получить импульс с плоской вершиной и стабильной амплитудой, необходим насыщенный режим работы транзисторов.

Чтобы удовлетворить приведенные выше противоречивые требования, неравенства не должны быть сильными. В этом случае транзисторы поочередно будут работать в режиме насыщения, но вблизи границы с активной областью.

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему симметричного мультивибратора.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эпюры выходного сигнала.

4. Измерьте частоту выходного сигнала.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего можно применять симметричный мультивибратор?
2. В чем достоинства симметричного мультивибратора?
3. Насколько устойчива частота сигнала, создаваемого симметричным мультивибратором?
4. Что влияет на частоту сигнала, создаваемого симметричным мультивибратором?

Практическое занятие № 11

Исследование работы мультивибратора в ждущем режиме

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы мультивибратора в ждущем режиме.

Теоретический материал

Мультивибраторы являются генераторами незатухающих колебаний, так как запирающее напряжение между базой и эмиттером транзисторов, уменьшаясь, достигает уровня отпирания и мультивибратор периодически переходит из одного квазистойчивого состояния в другое. Чтобы перевести мультивибратор в режим генерирования одиночных импульсов, необходимо одно из квазистойчивых состояний сделать устойчивым, подав запирающее напряжение между базой и эмиттером одного из транзисторов. Такой «заторможенный» мультивибратор называется одновибратором или ждущим мультивибратором.

Он представляет собой два усилителя, транзисторы которых включены по схеме с общим эмиттером. Транзистор, его нагрузочное сопротивление и резистор, подключенный в цепь базы, образуют первый каскад, а противоположные транзистор и резистор – второй каскад.

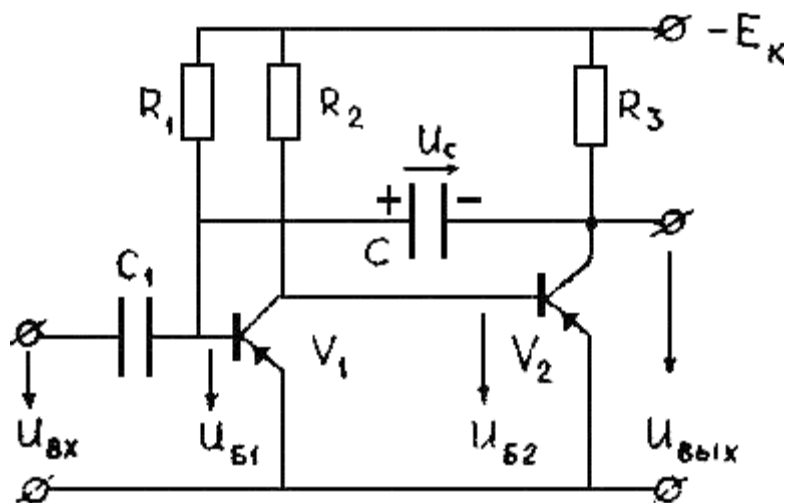


Рис. 11.1 Схема мультивибратора в ждущем режиме

Подадим в момент времени на вход одновибратора положительный импульс с амплитудой, превосходящей отрицательное напряжение на базе транзистора. Под воздействием этого сигнала транзистор начинает закрываться. Повышается его коллекторное напряжение. Этот рост напряжения сопровождается отпиранием транзистора, при этом напряжение на его коллекторе понижается. Напряжение на базе транзистора, равное сумме напряжений на конденсаторе и коллекторе, становится положительным, вызывая запуск транзистора.

В этом проявляется действие положительной обратной связи в схеме. В результате транзистор почти мгновенно запирается, а открывается и переходит в насыщение. Его коллекторное напряжение. Следовательно, теперь правая обкладка конденсатора имеет тот же потенциал, что и эмиттер транзистора. В результате все напряжение, до которого был заряжен конденсатор, будет приложено «плюсом» на базе транзистора. Благодаря наличию положительного напряжения на базе, транзистор остается закрытым и после прекращения действия входного импульса. Для простоты положим, что входной импульс очень короткий, и не будем учитывать влияния его на дальнейшее поведение схемы.

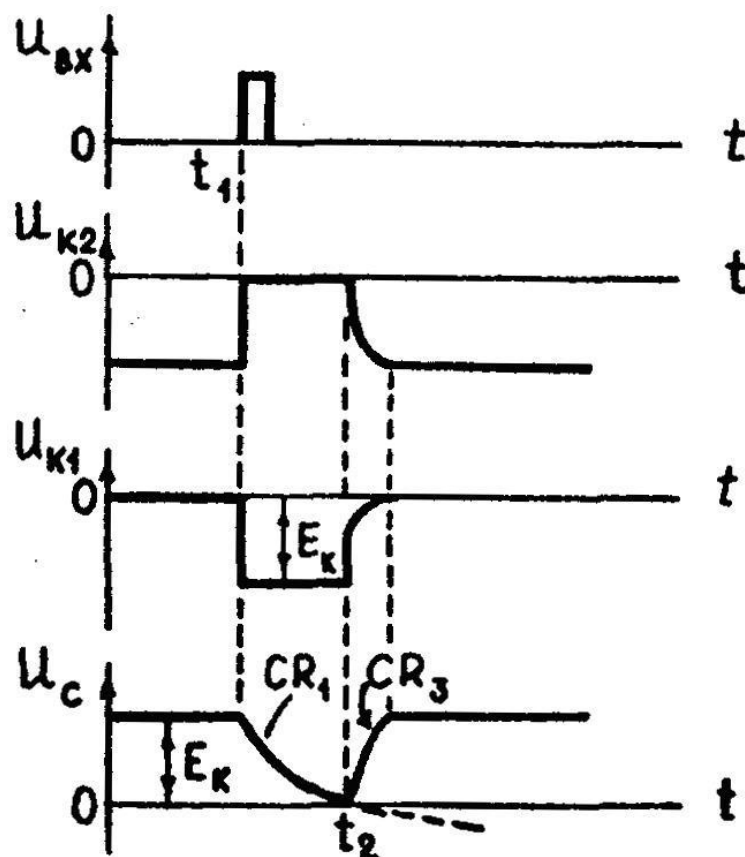


Рис 11.2 Эпюры напряжения в схеме мультивибратора в ждущем режиме работы

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему ждущего мультивибратора.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эпюры выходного сигнала.
4. Измерьте время наличия выходного сигнала.
5. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. От чего зависит время наличия выходного сигнала?
2. Что будет, если входной сигнал будет существовать дольше, чем выходной?
3. Что будет, если сопротивления в плечах мультивибратора будут различными?

Практическое занятие № 12

Исследование работы симметричного и несимметричного триггера

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы симметричного триггера.

Изучить конструкцию и особенности работы эмиттерного повторителя на транзисторе.

Теоретический материал

В отличие от одновибраторов триггеры имеют два устойчивых состояния, т. е. внешним воздействием триггер можно установить в определенное состояние, в котором он будет находиться до тех пор, пока следующее внешнее воздействие не установит его в другое устойчивое состояние. Одно из состояний принимают за "1", другое за "0". Так же, как мультивибратор, триггер реализуется с помощью двух усилителей с ПОС, называемых плечами. Связь между плечами осуществляется не с помощью конденсаторов, а с помощью сопротивлений.

При подаче питания оба плеча находятся в одинаковом состоянии. Но даже вследствие небольшой флуктуации ток в одном из плеч может быть больше, чем в другом. Пусть в левом плече ток больше. Это значит, что транзистор VT1 открыт несколько больше, коллекторное напряжение на нем ближе к нулю, чем на VT2. Это приводит к уменьшению напряжения базы транзистора VT2, коллекторный ток его уменьшается, коллекторное напряжение увеличивается. Это напряжение подается на базу транзистора VT1, который вследствие этого еще больше запирается. Процесс будет продолжаться до тех пор, пока транзистор VT1 перейдет в состояние насыщения. При этом транзистор VT2 заперется. Процесс зависит от соотношения сопротивлений R1, R4 и R5, R3, создающих положительную ОС, а также от напряжения источника Еб. Чтобы ускорить процесс переключения, сопротивления R1 и R5 шунтируют небольшими емкостями.

При подаче отрицательного импульса на вход vx1 транзистор VT1 запирается, увеличивающееся коллекторное напряжение подается на базу VT2, который откроется и перейдет в состояние насыще-

ния, приводя VT1 к отсечке. В таком состоянии триггер будет находиться до поступления на вход vx2 отрицательного импульса.

Источник питания Еб включен в схему минусом к базам транзисторов. Это дает возможность уверенного выхода транзисторов в режим отсечки, когда транзистор должен закрыться.

Когда транзистор VT1 открыт, на базе его положительное напряжение, большее, чем напряжение эмиттера. Диод VD1 открыт. В схеме его наличие необязательно. Но когда транзистор VT1 закрыт, на его базе должно быть отрицательное напряжение. Это достигается с помощью диода VD1. Эти же рассуждения подходят и к диоду VD2.

Входы и выходы триггера имеют свои обозначения. Единичный (прямой) выход триггера обозначается буквой Q, инверсный (обратный) символом \bar{Q} . Вход, по которому устанавливается "1" на прямом выходе обозначают буквой S, вход для установки в состояние "1" выхода \bar{Q} обозначается буквой R. Совершенно понятно, что при $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$ и наоборот: при $\bar{Q} = 1$, $Q = 0$.

Рассмотренный триггер переключается перепадами напряжений на входах. Медленно меняющееся напряжение не вызовет переключения так как оно не будет передано конденсатором. Переключение будет происходить при быстром перепаде из "1" в "0". Такие входы, в отличие от таких, которые не зависят от формы входного сигнала, называются динамическими. Те входы, которые зависят только от величины сигнала, т. е. не зависят от формы сигнала, называются статическими.

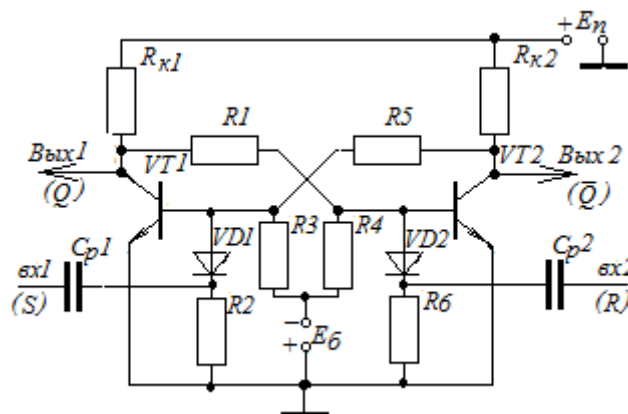


Рис. 12.1 Схема симметричного триггера

Основу несимметричных триггеров, как и симметричных, составляет 2-каскадный усилитель постоянного тока, охваченный ПОС. Эти триггеры тоже обладают двумя устойчивыми состояниями, смена

которых происходит скачкообразно под действием входных сигналов. Однако в отличие от симметричных триггеров несимметричным присуща неидентичность параметров обоих каскадов и видов связи между ними.

Этот вид триггера (ламповый вариант) был впервые описан в 1938 году О. Г. Шмиттом, откуда второе название схемы-триггер Шмитта. Это наиболее распространенная разновидность несимметричных триггеров, хотя часто все несимметричные триггеры называют триггеры Шмитта, что не совсем правильно.

Рассмотрим наиболее распространенную схему несимметричного триггера с эмиттерной связью.

В самостоятельный класс несимметричные триггеры выделены не по схематическому, а по функциональному признаку. Как правило, несимметричные ТШ выполняются так, что в отсутствии переключающего сигнала (исходное состояние) выходной сигнал однозначно определен.

Такие триггеры (ТШ) не обладают памятью и используются в качестве пороговых устройств и формирователей прямоугольных импульсов из сигналов произвольной формы, в том числе и синусоидальных, а не для обработки и хранения информации, как симметричные.

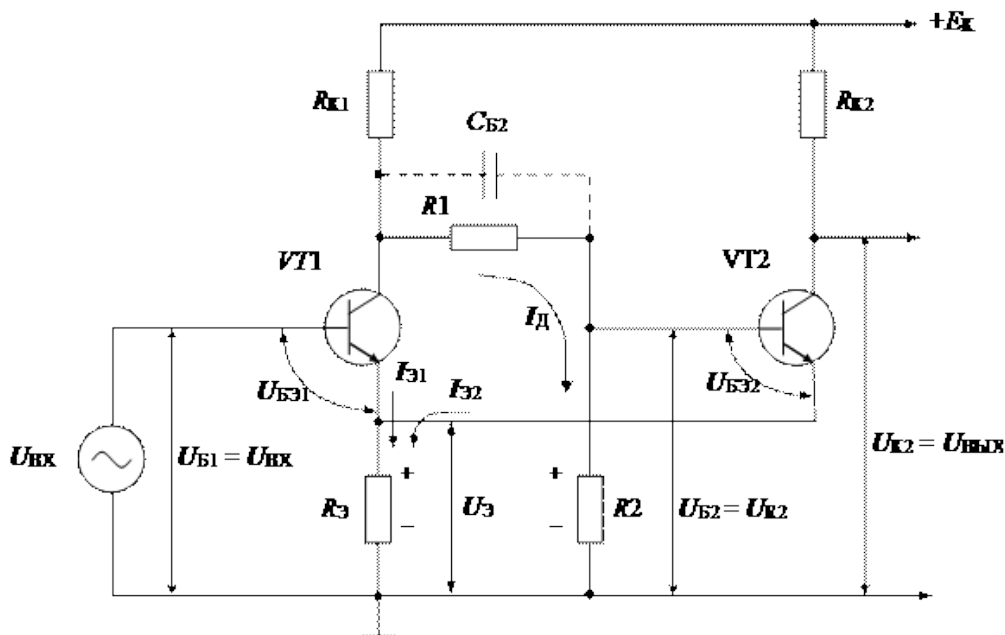


Рис. 13.1 Схема несимметричного триггера.

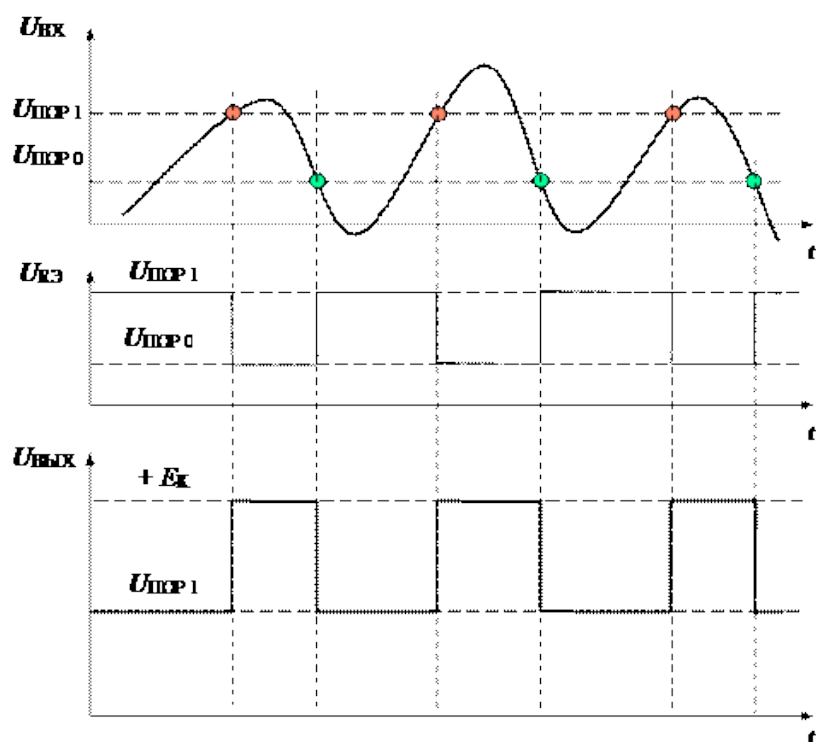


Рис. 13.2 Эпюры работы несимметричного триггера.

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему симметричного триггера.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эпюры выходных сигналов в зависимости от ВХОДНЫХ.
4. Составьте отчет о проделанной работе.
5. Соберите схему несимметричного триггера.
6. Проведите испытания собранной схемы.
7. Изобразите эпюры выходных сигналов в зависимости от ВХОДНЫХ.
8. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего можно применять симметричный триггер?
2. Зачем в схеме используется диоды и что будет, если их убрать?
3. Каково назначение конденсаторов?

4. Для чего можно применять несимметричный триггер?
5. В чем недостатки несимметричного триггера?
6. Из-за чего происходит задержка между переключениями состояний несимметричного триггера?

Практическое занятие № 13 **Исследование генератора** **линейно изменяющегося напряжения**

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы генератора линейно изменяющегося напряжения.

Теоретический материал

Генераторы линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) представляют собой электронные устройства, напряжение на выходе которых в течение некоторого времени изменяется по линейному закону. Часто такое напряжение меняется периодически. Подобные генераторы широко применяются в аппаратуре связи, телевидении, радиолокации.

Линейно изменяющееся напряжение образуется при заряде конденсатора C через резистор R от источника E . Транзистор VT , работающий в ключевом режиме, переключает конденсатор с заряда на разряд. Схема состоит из времязадающего конденсатора C , резистора R и транзисторного ключа $VT1$. На вход транзисторного ключа подается последовательность прямоугольных импульсов с заданным интервалом между импульсами и длительностью. Когда на базе транзистора нулевое напряжение (промежуток времени между импульсами), транзистор закрыт и происходит заряд конденсатора через резистор R . Если постоянная времени цепи RC достаточно большая, т. е. существенно больше периода следования прямоугольных импульсов, напряжение на конденсаторе нарастает линейно. Заряд конденсатора продолжается до поступления импульса, открывающего транзистор VT . Когда транзистор открывается, начинается процесс разряда конденсатора. Интервал времени между отпирающими импульсами должен быть достаточным для полного разряда конденсатора C .

Генераторы линейно изменяющегося напряжения Генераторы линейно изменяющегося (пилообразного) напряжения (ГЛИН) при-

меняют для развертки электронного луча в электроннолучевых трубках телевизионных, осциллографических и радиолокационных устройств, а также в схемах сравнения для задержки импульсов во времени и т. п. ГЛИН могут работать в режиме самовозбуждения и в ждущем режиме, когда период повторения пилообразного напряжения определяется запускающими импульсами. Режим самовозбуждения применяют, например, для получения непрерывной развертки в осциллографах, а ждущий режим - для получения ждущей развертки. Напряжением пилообразной формы называется напряжение, которое в течение определенного времени нарастает или убывает пропорционально времени (линейно), а затем быстро возвращается к исходному уровню. Пилообразное напряжение может быть линейно нарастающим или линейно падающим. Пилообразное напряжение характеризуется длительностью прямого или рабочего хода $t_{p.x.}$ в течение которого напряжение изменяется линейно; длительностью обратного хода $t_{o.x.}$, в течение которого напряжение обычно изменяется по экспоненте, и амплитудой U_{max} . Принцип получения пилообразного напряжения заключается в медленном заряде (или разряде) конденсатора через большое сопротивление во время прямого хода и в быстром его разряде (или заряде) через малое сопротивление во время обратного хода. В упрощенном виде это показано на рисунке 14.1.

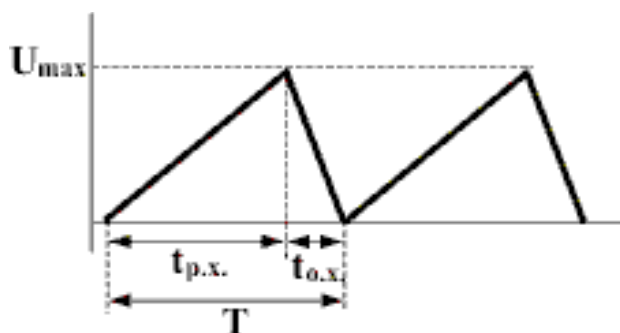


Рис. 14.1 Линейно изменяющееся нарастающее напряжение

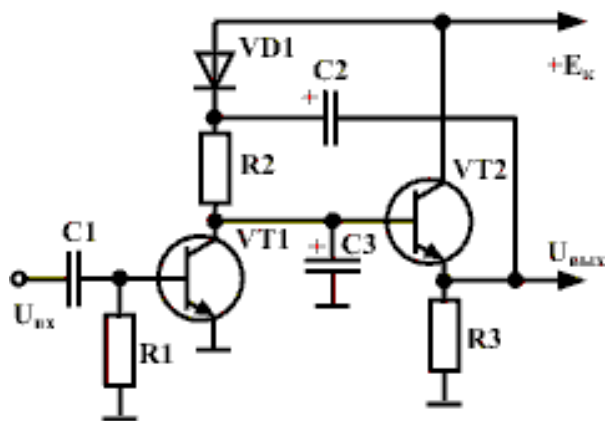


Рис. 14.2 Схема генератора линейно изменяющегося нарастающего напряжения с запуском по входному импульсу

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему генератора линейно изменяющегося напряжения.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эюры выходного сигнала в зависимости от входного импульса.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Как можно увеличить время нарастание напряжения?
2. Как можно уменьшить время спада напряжения?
3. Почему генератор с крутым спадом лучше?
4. Есть ли смысл делать генератор с одинаковым временем нарастания и спада?

Практическое занятие № 14 Диодные ограничители на ОУ

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности диодных ограничители на операционных усилителях.

Теоретический материал

К недостаткам рассмотренных диодных ограничителей относятся невозможность ограничения малых напряжений, при которых диод не открывается, а также нестабильность уровней ограничения из-за разброса параметров диодов и их зависимости от температуры.

Лучшие показатели имеют ограничители на интегральных схемах операционных усилителей (ИМС ОУ). Возможность построения таких ограничителей основана на следующих соображениях.

Так как напряжение между входами ИМС ОУ $U_0 \gg 0$, то $u_{\text{ВЫХ}}$ можно считать равным напряжению $u_{\text{ба}}$ между выходом и инвертирующим входом. Если после достижения некоторого значения напряжение $u_{\text{ба}}$ перестанет изменяться, то выходное напряжение будет ограничено на этом уровне. Элементом, напряжение на котором после достижения определенного значения практически не увеличивается при увеличении проходящего тока, является стабилитрон. Когда обратное напряжение на стабилитроне достигает напряжения стабилизации $U_{\text{СТ}}$, наступает пробой, после чего с увеличением тока напряжение на стабилитроне не меняется. Под действием прямого напряжения стабилитрон ведет себя как обычный диод и напряжение на нем $U_{\text{ПР}} \gg 0,7 \text{ В}$.

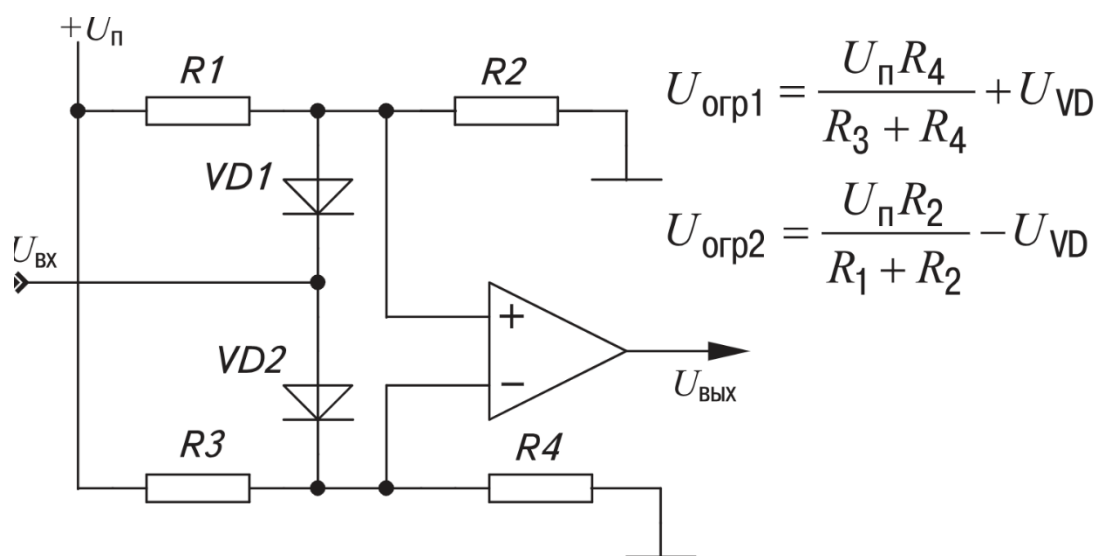


Рис 15.1 Простой диодный ограничитель на операционном усилителе

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему диодного ограничителя на операционном усилителе.
2. Проведите испытания собранной схемы путем подачи сигнала синусоидальной формы.
3. Изобразите эпюры формы выходного сигнала в зависимости от формы входного сигнала.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Как влияют свойства ОУ на работу всей схемы?
2. Как влияют резисторы на установку значения напряжения среза?
3. Что будет, если заменить диоды стабилитронами?

Практическое занятие № 15 **Формирователи импульсов на ОУ**

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы формирователей импульсов на основе операционных усилителей.

Теоретический материал

Одновибратор является формирователем одиночного импульса прямоугольной формы и фиксированной длительности, возникающего на выходе при поступлении на вход запускающего короткого импульса. Одновибратор применяется либо в качестве формирователя прямоугольных импульсов, либо в качестве узла задержки импульсов на заданное время.

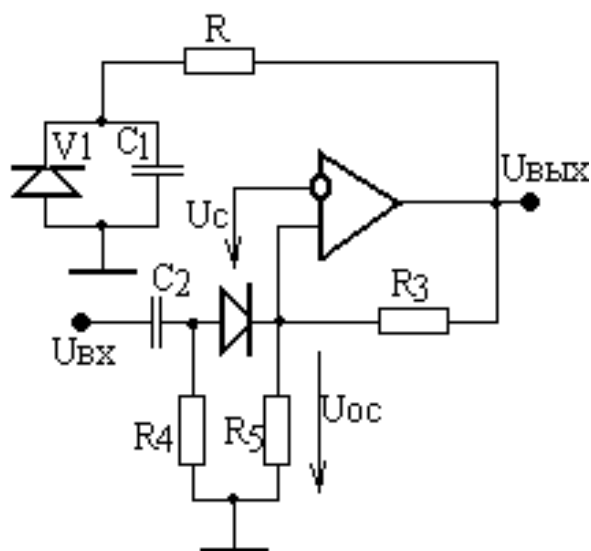


Рис. 16.1 Схема формирователя импульсов
на основе операционного усилителя

Одновибратор содержит конденсатор C_1 , связанный с выходом компаратора на ОУ через резистор R . В качестве компаратора использована схема с ПОС через цепочку R_3R_4 . Микросхема ОУ выполняет в одновибраторе несколько функций: компаратора, источника напряжения для заряда конденсатора и ключа, так как коммутация цепей заряда и разряда конденсатора осуществляется при переключении компаратора. Диод $V1$ служит для фиксации начального напряжения на конденсаторе $U_{ос}$. Элементы C_2 , R_4 , R_5 , $V2$ составляют цепь запуска, через них на схему поступает короткий запускающий импульс $U_{вх}$. Цепочка R_2R_5 является дифференцирующей.

Рассмотрение работы одновибратора нужно проводить по этапам, в соответствии с порядком его работы.

1-й этап (исходное состояние, "ждущий" этап). $U_{вх} = 0$. Будем считать, что компаратор ранее был приведен в состояние $U_{вых} = -U_{вых\ max}$. Конденсатор $C1$ разряжен, т.к. диод $V1$ препятствует его заряду выходным напряжением ОУ через резистор R . Нетрудно убедиться, что рассматриваемое состояние устойчиво, т. е. может длиться сколь угодно долго: $U_{ос} < U_c$, следовательно, компаратор действительно находится в состоянии отрицательного насыщения.

2-й этап (формирование импульса). При $U_{вх} > 0$, к прямому входу ОУ прикладывается входное напряжение, которое действует силь-

нее, чем сигнал с выхода ОУ через R_3 . Напряжение на прямом входе становится положительным. Поскольку на инвертирующем входе сохраняется $U_o(t_1) = 0$, то компаратор регенеративно переключается, и напряжение на его выходе скачком достигает $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых.мах}}$. На этапе формирования импульса надобность в поддержании напряжения на входе после переключения компаратора отпадает, т. к. положительное насыщение ОУ поддерживается положительным напряжением с его выхода на прямой вход по цепи R_3R_4 . Поэтому, входной импульс одновибратора может быть весьма коротким. При $t > t_1$ конденсатор C_1 заряжается напряжением $U_{\text{вых.мах}}$ через резистор R , причем, $t = RC_1$. Этап формирования импульса завершается в момент t_2 , когда напряжение на конденсаторе достигает значения напряжения ПОС на прямом входе: $U_c(t_2) = U_{oc}(t_2) = U_{\text{вых.мах}} = U_{o2}$. В этот момент компаратор регенеративно переключается.

3-ий этап (стадия восстановления исходного состояния). Итак, в момент t_2 скачком устанавливается $U_{\text{вых}} = -U_{\text{вых.мах}}$. Конденсатор C_1 начинает разряжаться через резистор R от источника напряжения ($-U_{\text{вых.мах}}$), при этом $t = RC_1$. В момент t_3 напряжение на конденсаторе достигает $U_c(t_3) = 0$, открывается диод V_1 , который препятствует дальнейшему уменьшению напряжения на конденсаторе. В момент t_3 стадия восстановления завершается, одновибратор готов к приходу нового импульса на входе.

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему формирователя импульсов на основе операционного усилителя.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эпюры выходного сигнала в зависимости от продолжительности входного импульса.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. В чем преимущество схемы на ОУ по сравнению со схемой на транзисторах?
2. Как диоды влияют на работу схемы?

3. Как поведет себя схема при увеличении частоты подачи входных импульсов?

Практическое занятие № 16

ГЛИН на операционном усилителе

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы генератора линейно изменяющегося напряжения на операционном усилителе.

Теоретический материал

Генераторы линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) используются в задающих устройствах и системах импульсно-фазового управления тиристорными преобразователями. Разработано много схем ГЛИН. Большими преимуществами обладают схемы на ОУ. В них в качестве источника постоянного тока применяются интеграторы на ОУ, а в качестве ключа – компараторы. Различают ГЛИН с внешним запуском и автономные.

В зависимости от назначения ГЛИН может формировать симметричную диаграмму выходного напряжения ($t_1 = t_2$) и несимметричную ($t_1 \neq t_2$).

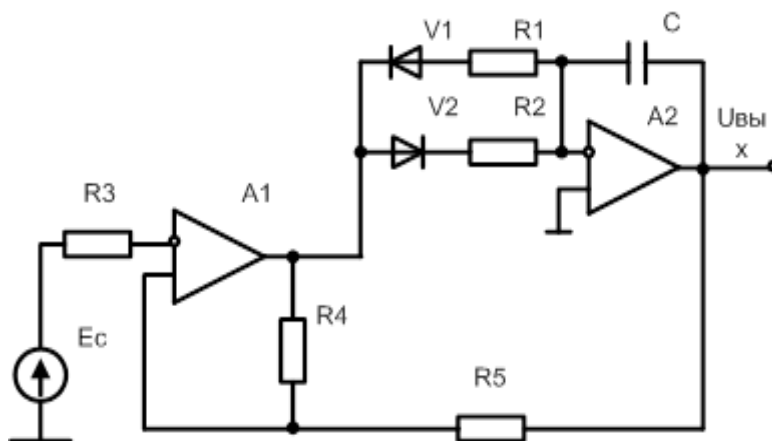


Рис. 17.1 Генератор линейно изменяющегося напряжения с автономным запуском и несимметричной диаграммой выходного напряжения

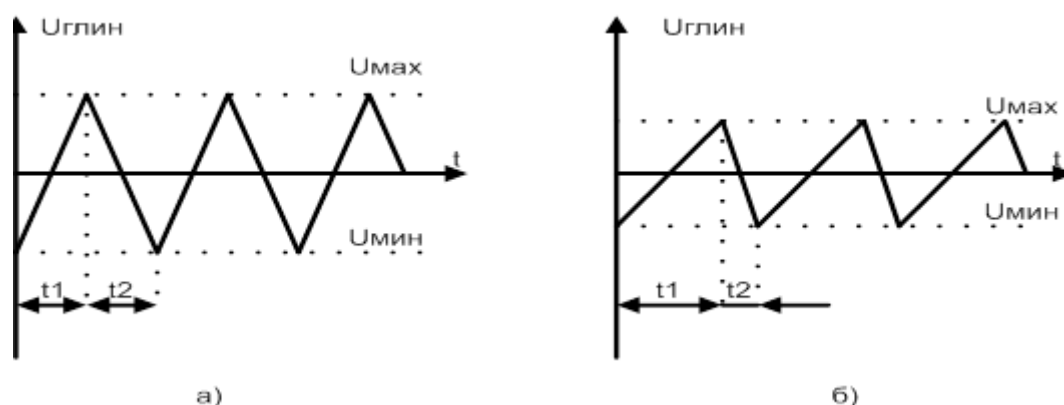


Рис. 17.2 Выходное напряжение ГЛИН:
а) симметричное; б) несимметричное

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему ГЛИН на основе операционного усилителя.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эюры выходного сигнала.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Как можно увеличить время нарастание напряжения?
2. Как можно уменьшить время спада напряжения?
3. Как можно изменить частоту генератора?

Практическое занятие № 17

Мультивибратор в автоколебательном режиме на ОУ

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы мультивибратора в автоколебательном режиме на база операционного усилителя.

Теоретический материал

В вычислительной технике, радиотехнике, телевидении, системах автоматического управления используют генераторы, колебаний несинусоидальной формы (прямоугольной, треугольной и т. д.). Ге-

нераторы, предназначенные для получения колебаний прямоугольной формы, называют мультивибраторами. В отличие от генераторов гармонических колебаний в мультивибраторе используется цепь обратной связи первого порядка, а активный элемент работает в нелинейном режиме.

Мультивибраторы работают в режиме автоколебаний или в ждущем режиме. Соответственно, различают автоколебательные и моностабильные (ждущие) мультивибраторы.

Схема автоколебательного мультивибратора на операционном усилителе показана на рис. 18.1. Активным элементом является инвертирующий триггер Шмитта, реализованный на ОУ и резисторах. Резистор и конденсатор формируют времязадающую цепь, определяющую длительность формируемых импульсов.

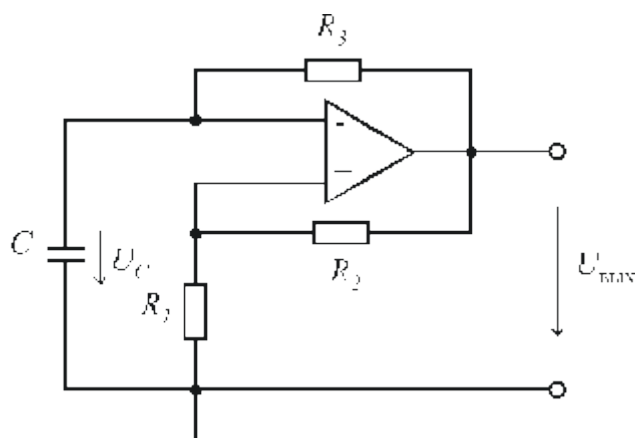


Рис 18.1 Схема мультивибратора на ОУ

Операционный усилитель охвачен положительной обратной связью и находится в режиме насыщения, поэтому напряжение на выходе высокое. Переключение ОУ из положительного насыщения в отрицательное и обратно происходит, когда напряжение на инвертирующем входе достигает положительного и отрицательного порогов срабатывания. Таким образом, переключение состояние схемы происходит при разных величинах напряжения, что и соответствует схеме работы триггера Шмидта.

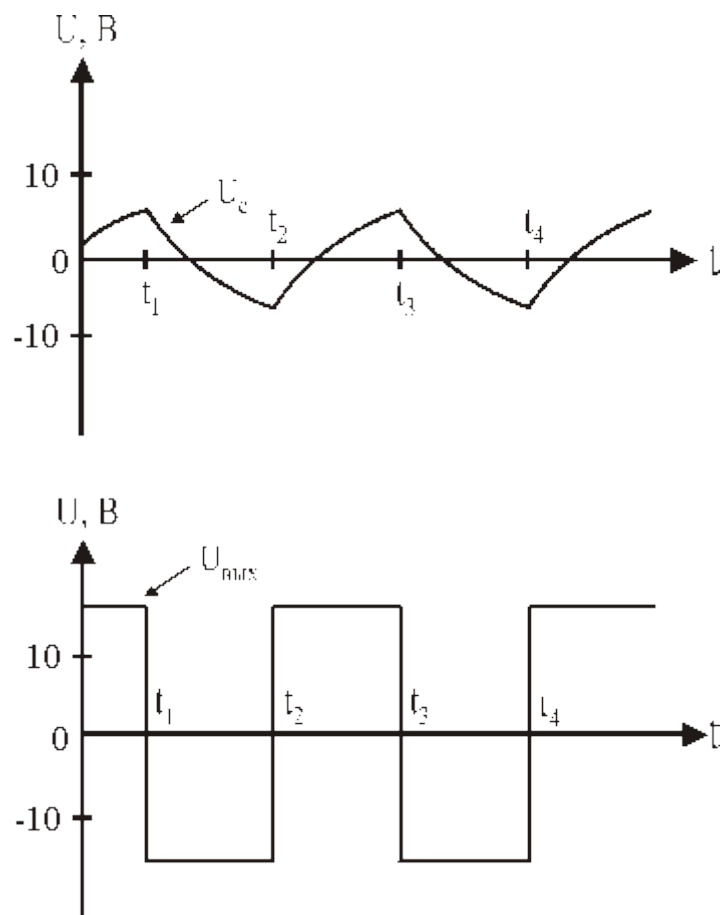


Рис. 18.2 Эпюры работы схемы мультивибратора на ОУ

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему мультивибратора на основе операционного усилителя.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эпюры выходного сигнала.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Почему выходное напряжение имеет именно такую форму?
2. Как можно изменить частоту генератора?
3. В чем принцип работы операционного усилителя?

Практическое занятие № 18

Компаратор на ОУ

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы компаратор на операционном усилителе.

Теоретический материал

Компаратор от английского слова compare – сравнить, то есть он сравнивает два напряжения и в зависимости от того на каком из входов оно выше, устанавливает на выходе плюс или минус напряжения питания. Также, можно сказать, что компаратор — это схема включения ОУ без отрицательной обратной связи, обладающая большим коэффициентом усиления. Под отрицательной обратной связью понимают, соединение инвертирующего входа с выходом, напрямую или через электронный компонент, например, резистор, конденсатор или диод.

Основные различия между операционным усилителем и компаратором следующие:

- Встроенные цепи фазовой коррекции, необходимые для обеспечения устойчивости ОУ, делают устройство слишком медленным для операций переключения.

- Входные каскады ОУ обычно защищены диодами или дополнительными транзисторами, которые нередко препятствуют использованию ОУ в схеме компаратора.

- Выходной каскад ОУ рассчитан на использование в линейном режиме. При двуполярном питании его выходное напряжение изменяется от одной шины питания до другой, и для использования в цифровых схемах требует смещения уровней.

- Выходной каскад истинного компаратора сконструирован для работы в режиме насыщения со стандартными логическими уровнями сигналов. Часто его выход делается по схеме с открытым коллектором (стоком).

- Для установки коэффициента усиления и других характеристик схемы ОУ обычно включается с резисторами обратной связи. Компаратор, как правило, работает с разомкнутой петлей, то есть, без обратной связи.

- По сравнению с ОУ компараторы имеют меньшие времена задержки и очень высокую скорость нарастания выходного напряжения.

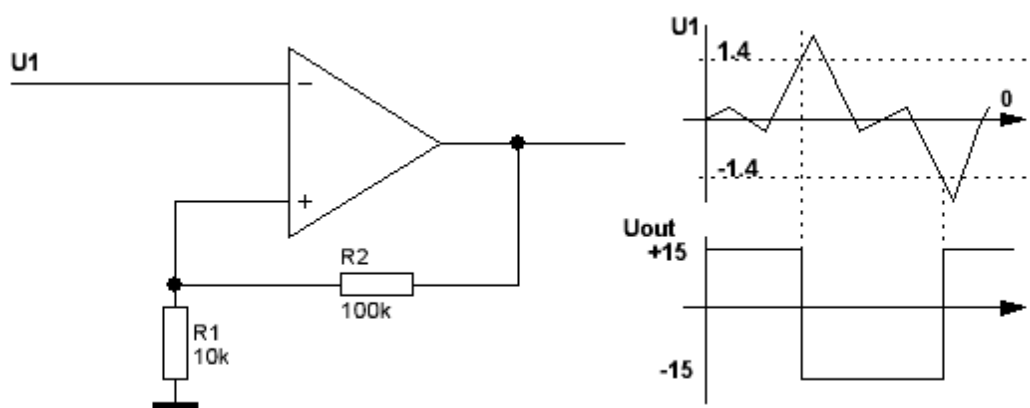


Рис. 19.1 Схема компаратора с гистерезисом и его эюры

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схему мультивибратора на основе операционного усилителя.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эюры изменения выходного сигнала в зависимости от изменения входного.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего можно применять компаратор?
2. Что будет, если включить компаратор без ОС?
3. Насколько целесообразно использовать ОУ в качестве компаратора?

Практическое занятие № 19

Синхронный RS-триггер

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы синхронного RS-триггера на основе логических элементов.

Теоретический материал

Одним из важнейших элементов цифровой техники является триггер (англ. Trigger – защёлка, спусковой крючок).

Сам триггер не является базовым элементом, так как он собирается из более простых логических схем. Семейство триггеров весьма обширно. Это триггеры: Т, D, С, JK, но основой всех является самый простой RS-триггер.

Без RS триггеров невозможно было бы создание никаких вычислительных устройств от игровой приставки до суперкомпьютера. У триггера два входа S (set) – установка и R (reset) – сброс и два выхода Q-прямой и Q-инверсный. Инверсный выход имеет сверху чёрточку. Триггер бистабильная система, которая может находиться в одном из двух устойчивых состояний сколь угодно долго.

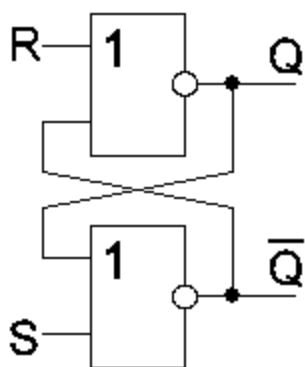


Рис. 22.1 RS-триггер выполненный на элементах 2ИЛИ – НЕ

Точно так же триггер может быть выполнен и на элементах 2И – НЕ. Единственная разница — это то, что триггер на элементах И – НЕ активируется, то есть переводится в другое состояние потенциалом логического нуля. Триггер, собранный на элементах ИЛИ – НЕ активируется логической единицей. Это определяется таблицей истинности логических элементов. При подаче положительного потенциала на вход S мы получим на выходе Q высокий потенциал, а на выходе Q низкий потенциал. Тем самым мы записали в триггер, как в ячейку памяти, единицу. Пока на вход R не будет подан высокий потенциал, состояние триггера не изменится.

Хорошо отображает принцип работы RS-триггера несложная схема, собранная на двух элементах 2И – НЕ (рис. 22.2). Для этого

используется микросхема 155ЛА3, которая содержит четыре таких элемента. Нумерация на схеме соответствует выводам микросхемы. Напряжение питания +5V подаётся на 14 вывод, а минус подаётся на 7 вывод микросхемы. После включения питания триггер установится в одно из двух устойчивых состояний.

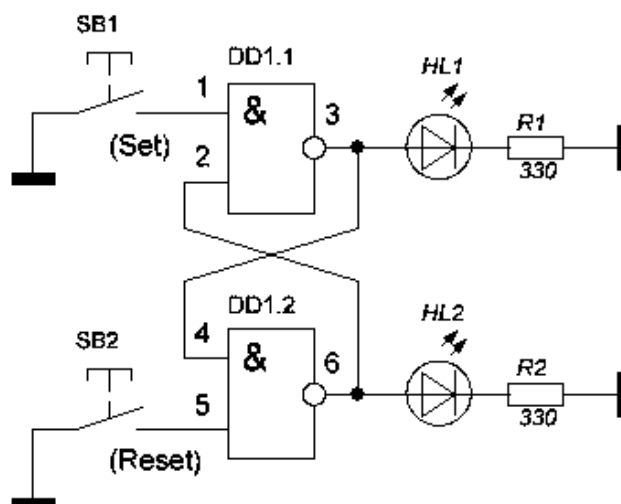


Рис. 22.2 Пример использования триггера

Ход выполнения практической работы

1. Соберите схемы RS триггера на основе логических элементов.
2. Проведите испытания собранных схем.
3. Изобразите эпюры выходных сигналов в их зависимости от входных сигналов.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего можно использовать данный триггер?
2. В чем его недостатки?
3. Возможно ли собрать его используя иные базовые логические элементы?

Практическое занятие № 20

Исследование работы мультиплексора

Цель занятия: Изучить конструкцию и особенности работы мультиплексора.

Теоретический материал

Мультиплексором – называют комбинационное устройство, обеспечивающее передачу в желаемом порядке цифровой информации, поступающей по нескольким входам на один выход. Мультиплексоры обозначают через MUX (от англ. multiplexor), а также через MS (от англ. multiplex or selector).

Схематически мультиплексор можно изобразить в виде коммутатора, обеспечивающего подключение одного из нескольких входов (их называют информационными) к одному выходу устройства. Кроме информационных входов в мультиплексоре имеются адресные входы и, как правило, разрешающие (стробирующие). Сигналы на адресных входах определяют, какой конкретно информационный канал подключен к выходу. Если между числом информационных входов n и числом адресных входов m действует соотношение $n = 2^m$, то такой мультиплексор называют полным. Если $n < 2^m$, то мультиплексор называют неполным.

Разрешающие входы используют для расширения функциональных возможностей мультиплексора. Они используются для наращивания разрядности мультиплексора, синхронизации его работы с работой других узлов. Сигналы на разрешающих входах могут разрешать, а могут и запрещать подключение определенного входа к выходу, т. е. могут блокировать действие всего устройства.

Рассмотрим функционирование двухвходового мультиплексора ($2 \rightarrow 1$), который условно изображен в виде коммутатора, а состояние его входов X_1X_2 и выхода Y . Исходя из чего, можно записать следующее уравнение:

$$Y = X_1A + X_2\bar{A}$$

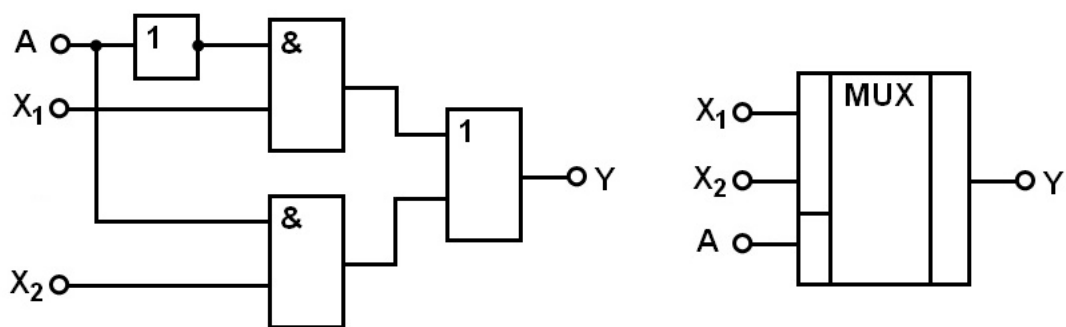


Рис. 24.1 Реализация мультиплексора на базовых логических элементах и его условное графическое обозначение

Основой данной схемы являются две схемы совпадения на элементах И, которые при логическом уровне «1» на одном из своих входов повторяют на выходе то, что есть на другом входе.

Если необходимо расширить число входов, то используют каскадное включение мультиплексоров. В качестве примера рассмотрим мультиплексор с четырьмя входами ($4 \rightarrow 1$), построенный на основе мультиплексоров ($2 \rightarrow 1$).

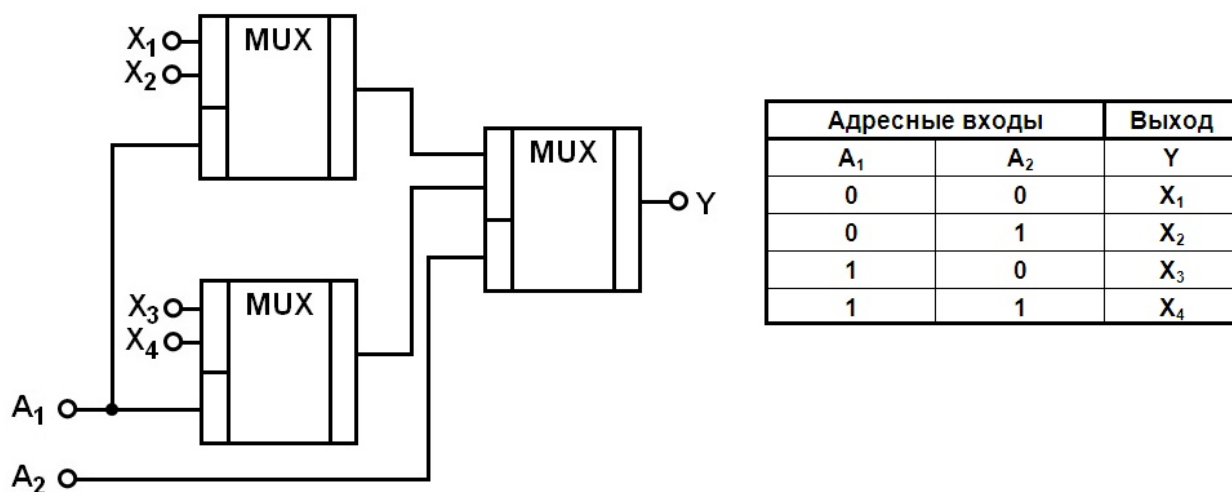


Рис. 24.2 Схема и таблица состояний мультиплексора

Мультиплексоры являются универсальными логическими устройствами, на основе которых создают различные комбинационные и последовательностей схемы. Мультиплексоры могут использоваться в делителях частоты, триггерных устройствах, сдвигающих устройствах и др. Мультиплексоры часто используют для преобразования параллельного двоичного кода в последовательный. Для такого

преобразования достаточно подать на информационные входы мультиплексора параллельный двоичный код, а сигналы на адресные входы подавать в такой последовательности, чтобы к выходу поочередно подключались входы, начиная с первого и кончая последним.

Ход выполнения практической работы

1. Соберите мультиплексор, используя базовые логические элементы.
2. Проведите испытания собранной схемы.
3. Изобразите эпюры выходных сигналов в их зависимости от входных сигналов.
4. Составьте отчет о проделанной работе.

Вопросы для обсуждения

1. Для чего можно применять мультиплексор?
2. Возможно ли создание мультиплексора для коммутации аналоговых сигналов?
3. Возможно ли применение мультиплексора как устройства сдвига?

Самостоятельная работа

Цель самостоятельной работы обучающихся – получить новые знания по дисциплине «Схематическое проектирование электронных приборов и устройств».

Задачи самостоятельной работы обучающихся:

- изучение и систематизация материала по вопросам расчетов и построения электронных схем, а также моделирования и анализа изменения форм и величин сигналов и процессов, протекающих в электронных схемах;
- получение дополнительных знаний в области расчетов и построения электронных схем, а также моделирования и анализа изменения форм и величин сигналов и процессов, протекающих в электронных схемах;
- подготовка обучающихся к самостоятельному и технически грамотному проведению расчетов и построения электронных схем, а

также моделирования и анализа изменения форм и величин сигналов и процессов, протекающих в электронных схемах.

Виды самостоятельной работы обучающихся указаны в табл. 1.

Таблица 1

Виды самостоятельной работы

№ п/п	Вид СРС
1	Ознакомление с содержанием основной и дополнительной литературы, методических материалов, конспектов лекций для подготовки к занятиям
2	Оформление отчетов по практическим работам
3	Подготовка к промежуточной аттестации

Обучающиеся должны изучить литературу по вопросам, представленным в табл. 1, составить конспекты, которые предоставляются преподавателю. Написанные конспекты проверяются преподавателем и подлежат защите обучающимися.

Формами контроля самостоятельной работы обучающихся являются:

- текущий контроль – оценка уровня подготовки обучающегося в процессе проведения преподавателем практических занятий путем выполнения и защиты практических работ;
- промежуточная аттестация в форме экзамена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миленина, С. А. Электротехника, электроника и схемотехника: учебник и практикум для СПО / С. А. Миленина, Н. К. Миленин; под ред. Н. К. Миленина. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 406 с. – ISBN 978-5-534-04676-2. – URL: <https://urait.ru/book/elektrotehnika-elektronika-i-shemotehnika-469606> (дата обращения: 02.02.2025). – Текст : электронный.

2. Миловзоров, О. В. Основы электроники: учебник для СПО / Миловзоров О. В., И. Г.. – 6-е изд., пер. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 344 с. – Панков ISBN 978-5-534-03249-9. – URL: <https://urait.ru/book/osnovy-elektroniki-469657> (дата обращения: 12.05.2025). – Текст : электронный.

3. Миленина, С. А. Электроника и схемотехника: учебник и практикум для СПО / С. А. Миленина, под ред. Н. К. Миленина. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 270 с. – ISBN 978-5-534-06085-0. – URL: <https://urait.ru/book/elektronika-i-shemotehnika-472059> (дата обращения 12.05.2025). – Текст : электронный.

4. Конструирование блоков радиоэлектронных средств : учебное пособие для СПО / Д. Ю. Муромцев, О. А. Белоусов, И. В. Тюрин, Р. Ю. Курносов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 288 с. – (Среднее профессиональное образование). – Текст : непосредственный.