

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО “УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ”  
ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА

Кафедра теплоэнергетики

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ЧАСТЬ 3. ЭЛЕКТРОНИКА



Ижевск  
2021

УДК 621.3 (075.8) + 621.38 (075.8)

ББК 31.2я73 + 32.85я73-5

Э45

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ*

**Рецензент:** к.т.н, доцент кафедры Электротехника ИжГТУ **Штин А.А.**

**Э45      Электротехника и электроника. Лабораторный практикум. Часть 3. Электроника** // Авторы-составители: Мезрин В.В., Зиновьев В.В. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. – 64 с.

В настоящем пособии представлены методические указания по проведению лабораторных работ по основным разделам аналоговой и цифровой электроники. Изучаются источники вторичного электропитания, усилители, элементы цифровой электроники. Кратко изложены теоретические сведения изучаемой темы, представлены схемы и порядок проведения экспериментов, состав оборудования и средств измерения, даны рекомендации по обработке результатов измерений.

Лабораторные работы проводятся на стендах “Квазар-02”. Важно, что для проведения лабораторных работ студенты самостоятельно собирают электрическую схему эксперимента из деталей, узлов и измерительных приборов, расположенных в блоках стенда.

Лабораторные работы предназначены для использования в лабораторном практикуме по электротехническим дисциплинам студентами специальностей “Теплоэнергетика и теплотехника”, “Электроэнергетика и электротехника”, а также студентами других инженерных специальностей.

Методические указания разработаны в соответствии с действующим федеральным государственным образовательным стандартом по направлениям подготовки 13.03.02 – “Электроэнергетика и электротехника” и 13.03.01 – “Теплоэнергетика и теплотехника”.

© В.В. Мезрин, В.В. Зиновьев,  
авт-сост, 2021

© ФГБОУ ВО “Удмуртский  
государственный университет”, 2021

## В В Е Д Е Н И Е

Широкое внедрение электроники при создании современных технологических устройств и постоянное ее развитие предъявляют к разработчикам и обслуживающему персоналу, инженерам, технологам и рабочим требования к знанию в той или иной степени основ электроники, как аналоговой, так и цифровой. Имеется тенденция замены электромагнитных переключающих устройств на электронные ключи на биполярных и полевых транзисторах. Развитие микроэлектроники позволило создать большой класс аналоговых и цифровых микросхем, выполняющих различные функции и действия. Электронные устройства широко применяются в измерительной технике для контроля технологического процесса.

Получивший техническое образование специалист должен представлять номенклатуру, параметры и характеристики элементов электронных устройств, схемы и работу отдельных узлов, принципы построения схем и соединения отдельных узлов, способен рассчитать потери мощности, выбрать оптимальную схему электронного устройства для осуществления и контроля технологического процесса.

Только достаточно высокий уровень подготовки в области электроники и схемотехники позволит специалисту решать задачи по созданию современных экономически выгодных устройств и находить пути повышения их энергетической эффективности.

Лабораторные исследования позволяют закрепить знания, полученные на лекционных и практических занятиях.

Лабораторные работы выполняются на стендах “Квазар-02” модульного типа, позволяющих собрать из отдельных элементов исследуемую схему. В основе методических указаний лежит учебное пособие [1], разработанное коллективом авторов Уфимского государственного авиационного технического университета, существенно переработанное, исправленное и дополненное.

Выполнение лабораторных работ на стендах позволяет студентам ознакомиться с приборами и методами измерения и исследования, методиками проведения экспериментов, представлять структуру узлов схемотехники. Выполнение некоторых работ требует умения обращаться с осциллографом.

В отчет по лабораторной работе помимо исследуемых схем и таблиц с измеренными и вычисленными значениями следует включать необходимые графики и осциллограммы.

В содержание лабораторных работ включены контрольные вопросы для самоподготовки, задачи, которые нужно уметь решать.

## **Основные правила техники безопасности и проведения работ в электротехнической лаборатории**

Перед началом выполнения лабораторных работ проводится инструктаж по технике безопасного проведения работ.

### **Основные правила техники безопасности при проведении лабораторных работ:**

- а) не загромождать рабочее место оборудованием, не относящимся к данной работе и посторонними предметами;
- б) перед сборкой электрической цепи убедиться, что питание стенда отключено;
- в) для сборки использовать провода с исправными клеммами и неповрежденной изоляцией;
- г) не прикасаться к выводам отключенных конденсаторов, разрядить конденсатор до сборки электрической цепи и после окончания работы, замкнув его выводы накоротко;
- д) после сборки цепи пригласить преподавателя для проверки правильности сборки и получить разрешение на включение стенда;
- е) все изменения в схемах проводить при отключенном стенде;
- ж) немедленно отключить стенд при появлении дыма, специфического запаха горелой изоляции, при срабатывании устройств защиты;
- з) при поражении электрическим током, отключить стенд, сообщить преподавателю и оказать первую помощь пострадавшему.

### **Правила сборки электрической цепи:**

- 1) при сборке электрической цепи в первую очередь собирается последовательная цепь, а затем подключаются параллельные ветви; вольтметры, параллельные обмотки ваттметров, фазометров подсоединяются в последнюю очередь;
- 2) при подключении какого бы-то ни было элемента, не имеющего обозначения полярности, входной клеммой считается левая (верхняя), а выходной – правая (нижняя);
- 3) перед включением стенда регуляторы напряжения устанавливаются в положение, обеспечивающее минимальный ток, делители напряжения – на минимум напряжения на выходе, сопротивления реостатов увеличиваются до максимума;
- 4) исследуемая цепь включается только после ее проверки преподавателем;
- 5) вносить изменения в электрическую цепь, разбирать ее можно только с разрешения преподавателя после отключения всех источников питания;
- 6) по окончании работ собрать соединительные провода по типоразмерам и сложить их на нижнюю полку стола.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## Исследование полупроводниковых выпрямителей

### 1. Цели и задачи работы

*Цель:* изучение устройства и принципа действия полупроводникового диода, исследование работы однофазных и трехфазных выпрямителей, изучение влияния емкостного сглаживающего фильтра.

*Задачи:* в результате выполнения лабораторной работы должны:

*знать* схемы выпрямления однофазного и трехфазного переменного напряжения, особенности использования той или иной схемы;

*уметь* выбрать диоды для выпрямителя в зависимости от выпрямляемого напряжения, характера нагрузки и выбранной схемы выпрямления;

*получить навыки* составления схем с полупроводниковыми приборами, проведения измерений в электронных схемах, в том числе и с использованием осциллографа.

### 2. Краткие теоретические сведения

**Выпрямитель** – статическое устройство, предназначенное для преобразования энергии переменного тока в энергию постоянного тока. Структурная схема выпрямителя состоит из трансформатора, диодной группы и сглаживающего фильтра (рис. 1.1).

Трансформатор (Т) (рис. 1.1) выполняет несколько функций: изменяет напряжение сети  $U_{вх}$  до значения  $U_1$ , необходимого для выпрямления, и электрически (гальванически) отделяет нагрузку (Н) от сети; диодная группа (ДГ) преобразует переменный ток в пульсирующий однонаправленный; сглаживающий фильтр (СФ) уменьшает пульсации выпрямленного напряжения (тока) до значения, допустимого для работы нагрузки (Н). Трансформатор (Т) и сглаживающий фильтр (СФ) не являются обязательными элементами выпрямительного устройства.

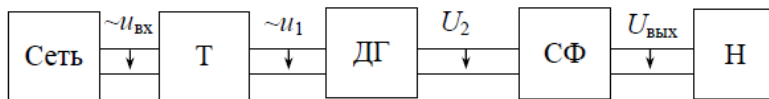


Рис.1.1. Структурная схема выпрямителя.

Основные параметры, характеризующие качество работы выпрямителя:

а) средние значения выпрямленного напряжения  $U_{н.ср}$  и тока  $I_{н.ср}$  – постоянные составляющие выпрямленного напряжения;

$$U_{н.ср} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{вых} dt, \quad I_{н.ср} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{вых} dt \quad (1.1)$$

б) мощность нагрузочного устройства

$$P_{н.ср} = U_{н.ср} I_{н.ср} \quad (1.2)$$

в) амплитуда основной (первой ненулевой) гармоники выпрямленного напряжения  $U_{1max}$ ,

г) частота пульсаций  $f_n$  – частота первой ненулевой гармоники выпрямленного напряжения;

д) коэффициент пульсаций  $p$ , равный от ношению амплитуды основной гармоники выходного напряжения к его среднему значению:

$$p = \frac{U_{1max}}{U_{cp}} \quad (1.3)$$

е) внешняя характеристика – зависимость среднего значения выпрямленного напряжения от среднего значения выпрямленного тока  $U_{н.ср} = f(I_{н.ср})$ .

Работа выпрямителя (диодной группы) основана на свойствах диодов – нелинейных элементов, пропускающих ток преимущественно в одном (прямом) направлении, принцип работы которых основан на свойствах  $p$ - $n$  перехода в полупроводниках.

Для работы в выпрямителях диоды выбирают по эксплуатационным параметрам, к которым относятся:

1) наибольший (прямой) рабочий ток  $I_{ср-пр}$  – предельно допустимое среднее значение выпрямленного тока, протекающего через диод при его работе на активную нагрузку;

2) наибольшее допустимое обратное напряжение  $U_{обр. max}$  – обратное напряжение, превышение которого приводит к пробоем  $p$ - $n$ -перехода и выходу диода из строя;

3) прямое падение напряжения  $U_{пр}$  – среднее значение прямого напряжения на открытом диоде при номинальном токе. Производная  $du_{пр}/di$  представляет собой прямое дифференциальное сопротивление диода  $R_{диф}$ ;

4) обратный ток  $I_{обр}$  – значение тока, протекающего через диод при приложении к нему допустимого обратного напряжения;

5) максимальная мощность  $P_{max}$  – максимально допустимая мощность, которая может быть рассеяна диодом.

В выпрямительных схемах диоды выбираются по значениям допустимого прямого тока  $I_{ср-пр}$  и обратного напряжения  $U_{обр. max}$ . Причем, если величина тока в отдельные моменты времени может превышать допустимое значение, то обратное напряжение на диоде не должно превышать допустимое ни в какой момент времени.

На рисунке 1.2 приведены реальные (а) при различной температуре, линеаризованная (б) и идеализированная (в) характеристики диода, на которых видно влияние температуры на их вид.

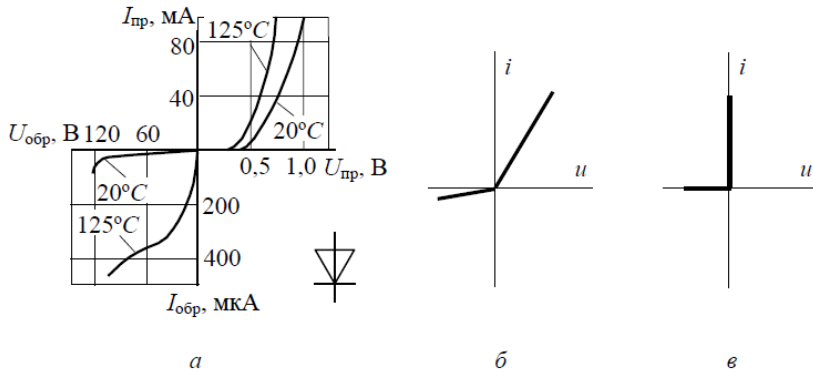
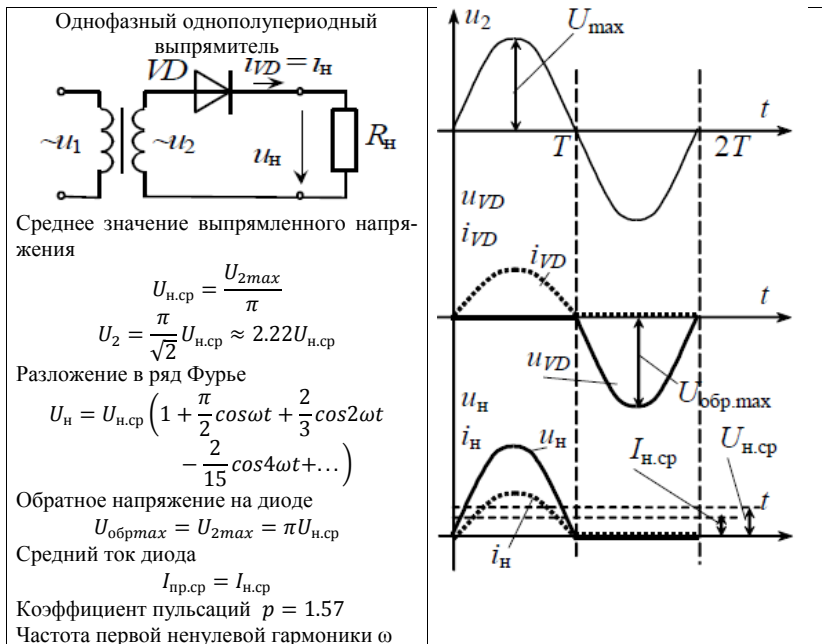


Рис.1.2. Вольт-амперные характеристики выпрямительного диода

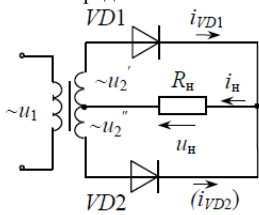
Основные характеристики и параметры схем выпрямления и временные диаграммы сведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Схемы, параметры и временные диаграммы выпрямителей



Двухполупериодный выпрямитель со средней точкой



Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{н.ср} = \frac{1}{\pi} U_{2max} \approx 0.827 U_{2фmax} = 1.17 U_{2ф}$$

$$U_2 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} U_{н.ср} \approx 2.22 U_{н.ср}$$

Разложение в ряд Фурье

$$U_{н} = U_{н.ср} \left( 1 + \frac{2}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{2}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \dots \right)$$

Обратное напряжение на диоде

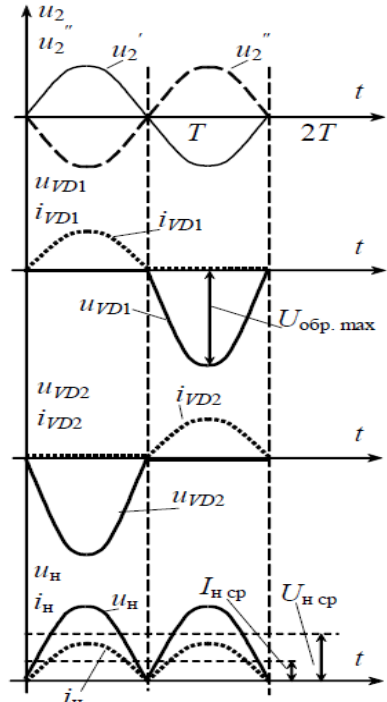
$$U_{обрmax} = \pi U_{н.ср}$$

Средний ток диода

$$I_{пр.ср} = \frac{1}{2} I_{н.ср}$$

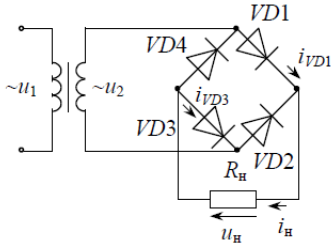
Коэффициент пульсаций  $p = 0.67$

Частота первой ненулевой гармоники  $2\omega$





Двухполупериодный мостовой выпрямитель



Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{н.ср} = \frac{2}{\pi} U_{2max} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.9U_2$$

$$U_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_0 \approx 1.11U_{н.ср}$$

Разложение в ряд Фурье

$$U_{н} = U_{н.ср} \left( 1 + \frac{2}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{2}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \dots \right)$$

Обратное напряжение на диоде

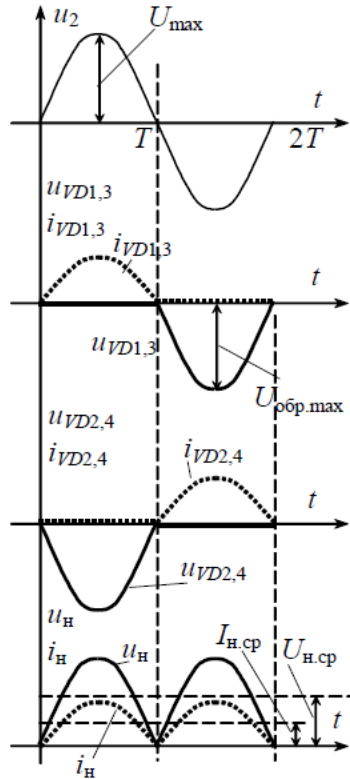
$$U_{обрmax} = \frac{\pi}{2} U_{н.ср}$$

Средний ток диода

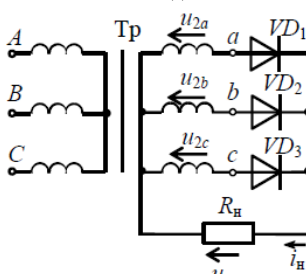
$$I_{пр.ср} = \frac{1}{2} I_{н.ср}$$

Коэффициент пульсаций  $p = 0.67$

Частота первой ненулевой гармоники  $2\omega$



Трехфазный выпрямитель с нейтральным выводом

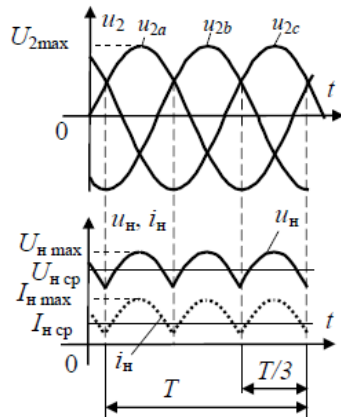


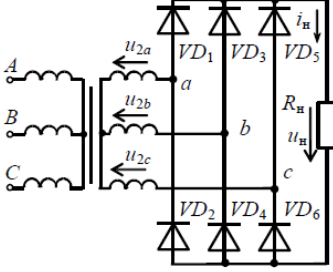
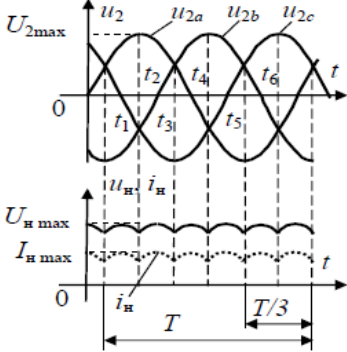
Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{н.ср} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_{2фmax} \approx 0.827U_{2фmax} = 1.17U_{2ф}$$

$$U_{2ф} = 0.85U_0$$

Разложение в ряд Фурье



$U_n = U_{н.ср} \left( 1 + \frac{1}{4} \cos 3\omega t - \frac{2}{35} \cos 6\omega t + \dots \right)$ <p>Обратное напряжение на диоде  <math>U_{обрmax} = 2.09U_{н.ср}</math></p> <p>Средний ток диода  <math>I_{пр.ср} = \frac{1}{3}I_{н.ср}</math></p> <p>Коэффициент пульсаций <math>p = 0.25</math>  Частота первой ненулевой гармоники <math>3\omega</math></p>	
<p>Трехфазный мостовой выпрямитель</p>  <p>Среднее значение выпрямленного напряжения</p> $U_{н.ср} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2л} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{2ф} \approx 2.34U_{2ф}$ $U_{2ф} = 0.427U_0$ <p>Разложение в ряд Фурье</p> $U_n = U_{н.ср} \left( 1 + \frac{2}{35} \cos 6\omega t - \frac{2}{143} \cos 12\omega t + \dots \right)$ <p>Обратное напряжение на диоде  <math>U_{обрmax} = 0.427U_{н.ср}</math></p> <p>Средний ток диода  <math>I_{пр.ср} = \frac{1}{3}I_{н.ср}</math></p> <p>Коэффициент пульсаций <math>p = 0.057</math>  Частота первой ненулевой гармоники <math>6\omega</math></p>	

**Сглаживающий фильтр** – устройство, предназначенное для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения. Пассивные сглаживающие фильтры собираются на реактивных элементах. Различают емкостные, индуктивные и смешанные фильтры (рис.1.3).

Эффективность фильтров оценивается коэффициентом сглаживания:

$$q = \frac{p_{вх}}{p_{вых}}, \quad (1.4)$$

где  $p_{вх}$ ,  $p_{вых}$  – коэффициенты пульсаций напряжений, соответственно, на входе и выходе фильтра.

Для чисто емкостного фильтра коэффициент сглаживания определяется по формуле

$$q = \frac{p_{\text{без ф.}}}{p_{\text{с ф.}}}$$

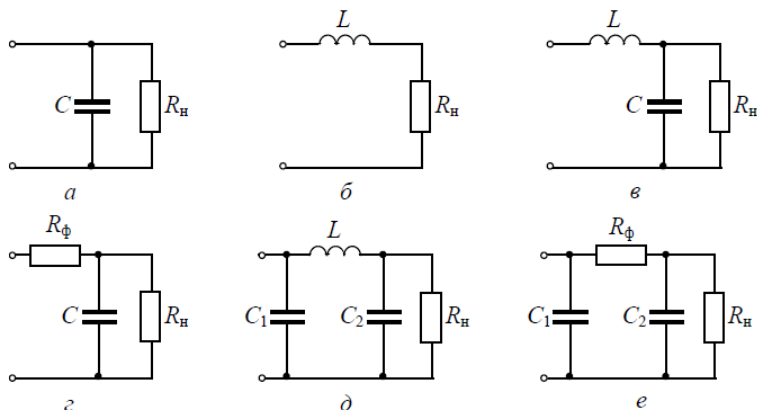


Рис.1.3. Виды пассивных фильтров.

Во многих случаях первым звеном фильтра является конденсатор, подключаемый параллельно выходу диодной группы; его работа на примере однополупериодного выпрямителя представлена на рис. 1.4.

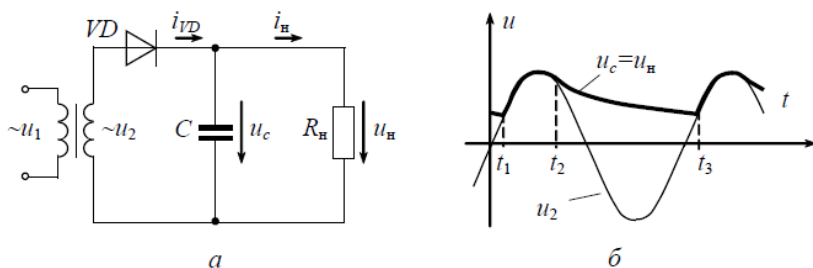


Рис.1.4. Работа емкостного фильтра

В этой схеме диод открыт уже не всю половину периода, а только в течение времени, когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора больше напряжения на конденсаторе (нагрузке). В этот период времени ( $t_1 - t_2$  на рис.1.4б) конденсатор заряжается через диод, в остальное время ( $t_2 - t_3$ ) конденсатор разряжается через нагрузку. Для чисто емкостного фильтра коэффициент пульсаций

$$p = \frac{1}{2\pi f_{\text{оч}} C_{\text{ф}} R_{\text{н}}}.$$

Для получения высоких коэффициентов сглаживания применяют составные пассивные фильтры (рис.1.3) или активные фильтры.

**Внешняя характеристика выпрямителя** – зависимость напряжения на нагрузке от тока.

Уравнение внешней характеристики выпрямителя с учетом прямого сопротивления диода  $R_D$  и сопротивления вторичной обмотки трансформатора  $R_{Tr}$  можно описать следующим образом:

$$U_{ср} = U_{срх} - (R_{Tr} + N R_D)I_{ср},$$

где  $U_{срх}$  – среднее выпрямленное напряжение в режиме холостого хода выпрямителя;

$N$  – число диодов, через которые в каждый момент времени протекает ток нагрузки ( $N = 1$  для однополупериодных схем,  $N = 2$  для двухполупериодных схем).

Поскольку диод является нелинейным элементом, его сопротивление зависит от тока, поэтому и внешняя характеристика выпрямителя будет нелинейной. Примерный вид внешних характеристик приведен на рис. 1.5.

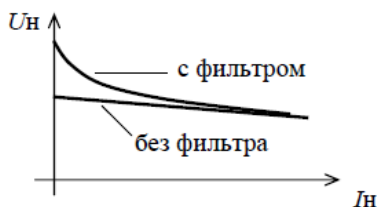


Рис.1.5. Внешние характеристики выпрямителя

Работа выпрямителя с емкостным фильтром существенно зависит от изменения нагрузочного тока  $I_n$ : при увеличении тока нагрузки (т.е. при уменьшении сопротивления нагрузки  $R_n$ ) уменьшаются постоянная времени разряда конденсатора ( $\tau = R_n C$ ) и среднее значение выпрямленного напряжения  $U_n$  ср, что приводит к большему наклону внешней характеристики, при этом пульсации – возрастают.

Емкостной фильтр целесообразно применять при высокоомной нагрузке. При низкоомной нагрузке применяется индуктивный фильтр (рис.1.3б).

### 3. Описание лабораторного оборудования

Экспериментальные исследования проводятся на универсальном лабораторном стенде.

При сборке цепи используется следующее оборудование:

1) автотрансформатор (АТ), обеспечивающий изменение напряжения  $0 \div 250$  В, со встроенным вольтметром, расположенным в “Блоке включе-

ния”, предназначенный для питания однофазного выпрямительного устройства;

2) резистор  $R_{\text{доб}}$  (20 Ом, 50 Вт), расположенный в “Блоке нагрузок” и включаемый в цепь для предотвращения возможного короткого замыкания сети при открытом диоде;

3) переменный резистор сопротивлением 220 Ом, расположенный в “Блоке нагрузок”, используемый в качестве активной нагрузки выпрямителей ( $R_n$ );

4) полупроводниковые диоды  $VD3 \div VD15$  (КД220), расположенные в “Блоке аналоговых устройств”;

5) батарея конденсаторов, расположенная в “Блоке нагрузок” и используемая в качестве емкостного фильтра;

6) трансформаторы  $T1 \div T3$ , расположенные в “Блоке трансформаторов” и предназначенные для питания трехфазного выпрямительного устройства;

7) электронные измерительные приборы с автоматическим выбором предела измерения и рода тока, расположенные в “Блоке измерительных приборов”:

а)  $pA$  – амперметр с верхним пределом измерения 2,5 А, предназначенный для измерения тока нагрузки;

б)  $pV$  – вольтметры с верхним пределом измерения 250 В, предназначенные для измерения величины переменного ( $pV1$ ) и постоянной составляющей выпрямленного напряжения ( $pV2$ );

8) электронный осциллограф С1-65А, предназначенный для исследования формы выпрямленного напряжения;

9) многопредельный ламповый вольтметр В3-38 (на схеме  $pV3$ ), предназначенный для измерения переменной составляющей выпрямленного напряжения, при измерении следует выбирать такой предел измерения, при котором стрелочка находится во второй половине шкалы.

#### **4. Методика выполнения работы**

##### **4.1. Исследование однофазного однополупериодного выпрямителя**

- Соберите цепь однополупериодного выпрямителя (рис. 1.6) (на одном из диодов  $VD12 \div VD15$ ). В качестве сопротивления нагрузки включите резистор  $R_{\text{доб}}$  (20 Ом, 50 Вт) и один из реостатов  $R$  (220 Ом, 50 Вт). Установите максимальное значение сопротивления нагрузки.

- С помощью автотрансформатора установить напряжение  $20 \div 30$  В на входе выпрямителя по указанию преподавателя. Зарисовать осциллограмму переменного напряжения в масштабе.

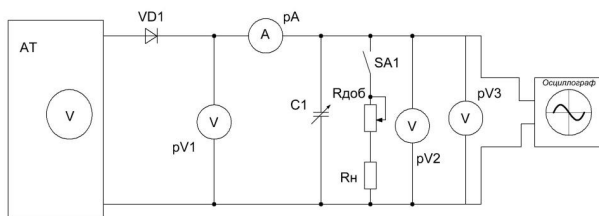


Рис.1.6. Схема для изучения однополупериодного выпрямителя

- В режиме холостого хода (выключатель SA1 разомкнут) снять в масштабе осциллограмму выпрямленного напряжения и произвести измерения постоянной и переменной составляющей выпрямленного напряжения в схемах без фильтра и с фильтром..

- Подсоединить нагрузку, замкнув выключатель SA1, и произвести измерения. Для каждого из опытов зарисовать осциллограммы напряжения на нагрузке.

**Примечание:** в этой схеме переменная составляющая выпрямленного напряжения преобладает над постоянной (коэффициент пульсаций  $p=1.57$ ), вольтметр стенда pV1 автоматически переключится на измерение переменного тока, для измерения постоянной составляющей воспользуйтесь мультиметром.

Результаты всех измерений занести в табл. 1.2.

#### 4.2. Исследование мостового однофазного выпрямителя

- Соберите цепь мостового выпрямителя (рис.1.7).

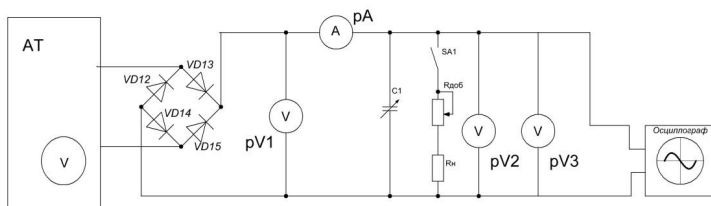


Рис.1.7. Схема для исследования мостового выпрямителя

- В режиме холостого хода (выключатель SA1 разомкнут) снять осциллограмму выпрямленного напряжения, произвести измерения постоянной и переменной составляющей выпрямленного напряжения.

- Подсоединить нагрузку, замкнуть выключатель SA1 и произвести измерения для схемы без фильтра и с емкостным фильтром при разных значениях емкости. Зарисовать осциллограммы напряжения на нагрузке.

- Изменяя величину сопротивления нагрузки  $R_n$ , снять внешние характеристики выпрямителя без фильтра и с емкостным фильтром, данные занести в табл. 1.3.

### 4.3. Исследование трехфазного выпрямителя с нейтральным выводом.

- Соберите цепь трехфазного выпрямителя с нейтральным выводом (рис. 1.8), в качестве нагрузки используйте сопротивление  $R_H = 220 \text{ Ом}$ .

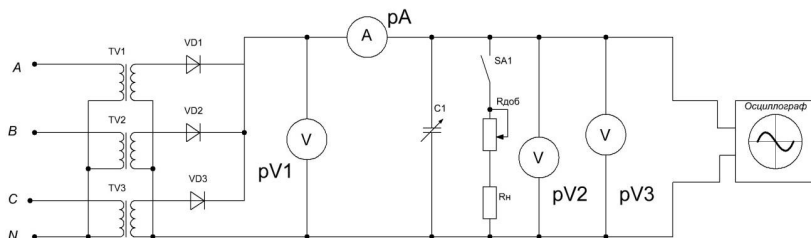


Рис.1.8. Трехфазный выпрямитель с нейтральным выводом.

Положение переключателей SA1 ÷ SA3 «Блока трансформаторов» одинаковое и задается преподавателем.

- Проведите измерения, запишите показания приборов в табл. 1.2 и зарисуйте осциллограммы выходного напряжения выпрямителя для его работы без фильтра и с фильтром.

### 4.4. Исследование трехфазного мостового выпрямителя.

- Соберите цепь трехфазного мостового выпрямителя (рис.1.9)

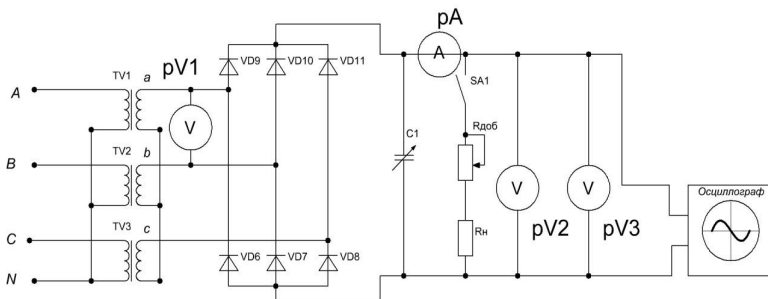


Рис.1.9. Трехфазный мостовой выпрямитель.

- Проведите измерения, запишите показания приборов в табл. 1.2 и зарисуйте осциллограммы выходного напряжения выпрямителя для его работы без фильтра и с фильтром.

Примечание: Исследование влияния емкости конденсатора фильтра на работу выпрямителя и снятие внешних характеристик проведите для одной из исследуемых схем выпрямления по указанию преподавателя (в табл.1.2 это показано для мостового однофазного выпрямителя).

Таблица 1.2

## Исследование параметров выпрямителей

Тип выпрямителя	$R_n$ , Ом	фильтр	измерено				вычислено		
			$U_{вх}$ , В	$U_0$ , В	$U_{пер}$ , В	$I_n$ , А	$U_{2\phi}/U_0$	$p$	$q$
однополупериодный	-	C=0							-
	-	C=60мкФ							
	220	C=0							-
	220	C=60мкФ							
двухполупериодный мостовой	-	C=0							-
	-	C=60мкФ							
	220	C=20мкФ							
	220	C=40мкФ							
	220	C=60мкФ							
трехфазный с нейтральным выводом	-	C=0							-
	-	C=60мкФ							
	220	C=0							-
	220	C=60мкФ							
трехфазный мостовой	-	C=0							-
	-	C=60мкФ							
	220	C=0							-
	220	C=60мкФ							

При вычислении коэффициента пульсаций следует учесть, что вольтметры в схеме измеряют действующее значение.

Среднее значение выпрямленного напряжения и амплитуду переменной составляющей можно также определить по осциллограммам.

Проведите анализ полученных результатов измерений, то есть сравните значения вычисленных величин с теоретическими значениями табл.1.1. Попытайтесь объяснить расхождения, если имеют место существенные различия.

Таблица 1.3

Табл.1.3. Внешние характеристики мостового выпрямителя.

без фильтра									
$I$ , А	0								
$U$ , В									
с емкостным фильтром									
$I$ , А	0								
$U$ , В									

По значениям табл.1.3 построить в одной системе координат внешние характеристики выпрямителя.





### **Контрольные вопросы**

1. Объясните механизм образования р-n перехода.
2. Дайте классификацию и объясните работу однофазных выпрямителей.
3. Объясните работу трехфазных выпрямителей.
4. Объясните назначение и принцип работы сглаживающих фильтров.
5. Изобразите внешние характеристики однополупериодного и мостового выпрямителей. Поясните их различия.
6. Изобразите внешние характеристики однополупериодного выпрямителя без фильтра и с емкостным фильтром. Поясните их различие.
7. Как изменится коэффициент пульсаций на нагрузке, если увеличить емкость фильтра?
8. К каким последствиям приведет неправильное включение одного из диодов в мостовой схеме выпрямления?
9. Каковы последствия выхода из строя одного из диодов моста?
10. Сравните  $U_{\text{обрmax}}$  на диодах в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### Исследование параметрического стабилизатора напряжения

#### 1. Цели и задачи работы.

*Цель:* изучение устройства и принципа действия стабилизатора, исследование характеристик параметрического стабилизатора напряжения, изучение методик расчета стабилизатора напряжения.

*Задачи:* в результате выполнения лабораторной работы студенты должны:

*знать* назначение и вольт-амперные характеристики стабилизатора;  
*уметь* составлять схемы параметрического стабилизатора напряжения, подобрать марку стабилизатора и выбрать балластный резистор, рассчитать возможные отклонения стабилизированного напряжения от заданного;

*получить навыки* проведения экспериментов с полупроводниковыми приборами, выбора измерительных приборов и оценки получаемых результатов.

#### 2. Краткие теоретические сведения

**Стабилизатор** напряжения (тока) – устройство, обеспечивающее поддержание напряжения (тока) нагрузки с заданной степенью точности. На величину выпрямленного напряжения влияют следующие факторы:

- ток нагрузки,
- изменение величины и частоты исходного напряжения промышленных сетей;
- изменение температуры окружающей среды и оборудования.

По способу стабилизации различают *параметрические* и *компенсационные* (непрерывного и импульсного регулирования) стабилизаторы.

В параметрических стабилизаторах используются нелинейные элементы, имеющие участок, на котором напряжение (ток) слабо зависит от дестабилизирующих факторов.

Основные параметры стабилизатора напряжения:

- коэффициент стабилизации по напряжению  $K_{CTU} = \frac{\Delta U_{ВХ}/U_{ВХ}}{\Delta U_{ВЫХ}/U_{ВЫХ}}$ ,

- внутреннее сопротивление стабилизатора  $R_{i\text{ см}}$ ;

- КПД  $\eta_{CT} = \frac{P_H}{P_H + P_{CT}}$ .

В качестве параметрического стабилизатора напряжения чаще всего используются **стабилитрон** – полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя слабо зависит от тока (рис.2.1).

Основные параметры стабилитрона (см.рис.2.2б):

- напряжение стабилизации  $U_{cm}$  – падение напряжения на стабилитроне при протекании заданного тока стабилизации, В;

- максимальный  $I_{max}$  и минимальный  $I_{min}$  ток стабилизации;

- дифференциальное сопротивление на участке стабилизации  
 $r_{\text{диф}} = \frac{dU_{\text{ст}}}{dI_{\text{ст}}} \approx \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{\Delta I_{\text{ст}}}$ ;  
 - температурный коэффициент стабилизированного напряжения

$$\text{TKU}_{\text{ст}} = \frac{1}{U_{\text{ст}}} \frac{dU_{\text{ст}}}{dT}$$

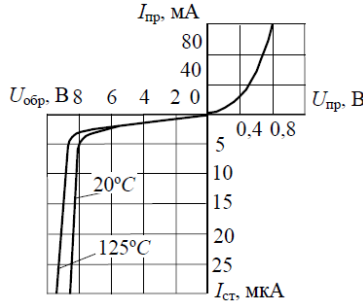


Рис.2.1. Вольт-амперная характеристика стабилитрона.

Схема параметрического стабилизатора напряжения представлена на рис.2.2а и включает стабилитрон и балластный резистор, обеспечивающий требуемый режим работы. Напряжение на балластном резисторе  $R_6$  устанавливается равное разности напряжения на входе и нагрузке  $U_{\text{вх}} - U_{\text{н}}$ .

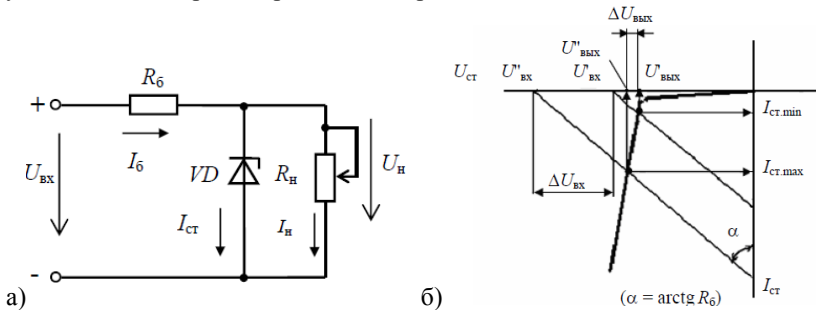


Рис.2.2. Схема стабилизатора напряжения на стабилитроне (а) и влияние изменения входного напряжения на положение рабочей точки (б).

Нагрузочная прямая на вольтамперной характеристике стабилитрона (рис.2.2б) строится по уравнению  $U_{\text{вх}} = R_6 \left( I_{\text{ст}} + \frac{U_{\text{ст}}}{R_н} \right) + U_{\text{ст}}$ . При изменении входного напряжения нагрузочная прямая перемещается параллельно себе, при изменении сопротивления нагрузки – изменяет свой наклон (угол  $\alpha$ ). Таким образом, если рабочая точка не выходит за пределы линейного участка электрического пробоя (ток стабилитрона лежит в пределах  $I_{\text{стmin}} \div I_{\text{стmax}}$ ), напряжение на нагрузке меняется слабо.

## Порядок расчета параметрического стабилизатора напряжения (схема рис.2.2а)

Исходные данные

стабилизированное напряжение на нагрузке  $U_{ст.н}$

максимальное и минимальное напряжения на входе  $U_{вх.мах}$  и  $U_{вх.мин}$

сопротивление нагрузки  $R_n$  (расчет при заданном сопротивлении нагрузки)

Порядок расчета:

- по справочнику выбирается стабилитрон с заданным значением напряжения стабилизации  $U_{ст.н}$  и выписываются его максимальный и минимальный токи стабилизации  $I_{ст.мах}$ ,  $I_{ст.мин}$

- рассчитывается средний ток стабилитрона  $I_{ст.ср.} = 1/2(I_{ст.мах} + I_{ст.мин})$

- находится среднее значение входного напряжения

$$U_{вх.ср.} = 1/2(U_{вх.мах} + U_{вх.мин})$$

- определяется ток нагрузки  $I_n = U_{ст.н} / R_n$

- рассчитывается величина балластного сопротивления

$$R_б = \frac{U_{вх.ср.} - U_{ст.н}}{I_n + I_{ст.ср.}}$$

- делается проверка  $U_{вх.мах} \leq R_б(I_{ст.мах} + I_n) + U_{ст.н}$

$$U_{вх.мин} \geq R_б(I_{ст.мин} + I_n) + U_{ст.н}$$

Если эти условия не выполняются, выбирается другой стабилитрон.

### 3. Описание лабораторного оборудования.

Экспериментальные исследования проводятся на универсальном лабораторном стенде.

При сборке цепи используется следующее оборудование:

1) автотрансформатор (АТ) со встроенным вольтметром, расположенный в “Блоке включения”, обеспечивающий изменение напряжения в пределах 0÷250 В и предназначенный для питания однофазного выпрямительного устройства;

2) один из однофазных мостовых выпрямителей UZ1 или UZ2, расположенных в “Блоке включения”;

3) резисторы  $R_{доб}$  (20 Ом, 50 Вт) и  $R_{бал}$  (220 Ом, 50 Вт), расположенные в “Блоке нагрузок”;

4) один из регулируемых реостатов RP1÷RP3 (220 Ом, 50 Вт), расположенный в “Блоке нагрузок” и используемых в качестве активной нагрузки выпрямителей;

5) полупроводниковый стабилитрон VD1 (Д815Ж), расположенный в “Блоке аналоговых устройств”;

6) электронные измерительные приборы с автоматическим выбором предела измерения и рода тока, расположенные в “Блоке измерительных приборов”

а)  $pA1$  – амперметр с верхним пределом измерения 2,5 А, предназначенный для измерения тока нагрузки;

- б) рА2 – амперметр с верхним пределом измерения 1,5 А, предназначенный для измерения тока стабилитрона;
- в) рV1 и рV2 – вольтметры с верхним пределом измерения 250 В, предназначенные для измерения величин выпрямленного напряжения.

#### 4. Порядок выполнения работы

4.1. Соберите цепь параметрического стабилизатора напряжения согласно рис. 2.3.

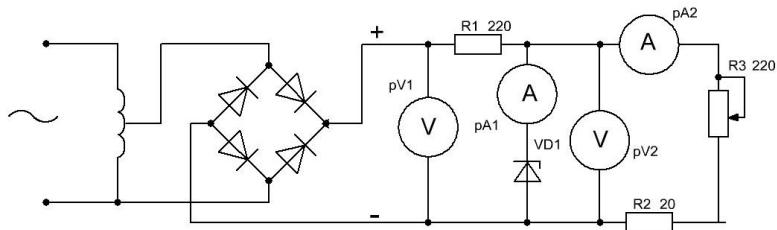


Рис.2.3. Схема лабораторной работы.

4.2. Изучение влияния входного напряжения на напряжение стабилизации.

В цепи параметрического стабилизатора (рис. 2.3) установите максимальное значение сопротивления нагрузки  $R_n$ , повернув ручку реостата против часовой стрелки до упора. Изменяя величину напряжения питания ( $U_{вх}$  по вольтметру рV1) от 0 до 80 В, снимите зависимость напряжения на нагрузке от входного напряжения  $U_n = f(U_{вх})$ , а также зависимость напряжения на стабилитроне от его тока  $U_{ст} = f(I_{ст})$ . Результаты измерений занесите табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Исследование зависимости работы стабилитрона при изменении входного напряжения. Сопротивление нагрузки 240 Ом.

$U_{вх}, В$										
$U_n = U_{ст}, В$										
$I_n, мА$										
$I_{ст}, мА$										

**Внимание! Во избежание теплового пробоя стабилитрона его ток не должен превышать значение  $I_{ст.макс} = 300 мА$ .**

4.3. Изучение влияния тока нагрузки на напряжение стабилизации.

Установите такое напряжение питания ( $U_{вх}$ )  $38 \div 43 В$ , при котором напряжение на нагрузке лежит в пределах  $15 - 18 В$ , и, изменяя величину сопротивления резистора  $R_n$  от 220 до 0 Ом, получите экспериментальные данные для построения зависимости  $U_n = f(I_n)$ , при этом входное напряжение не менять. Результаты измерений занесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2.

Исследование зависимости работы стабилизатора от нагрузки при постоянном входном напряжении  $U_{вх} =$

$U_H, В$										
$I_H, мА$										

4.4. Для экспериментального получения прямого участка вольт-амперной характеристики (ВАх) стабилизатора Д815Ж, измените полярность питания стабилизатора в рис.2.3.

Получите экспериментальные данные для построения прямой ветви ВАх стабилизатора, увеличивая напряжение от 0 В. Напряжение увеличивайте до тех пор, пока ток не достигнет 100 мА. Результаты измерений занесите в табл. 2.3.

Таблица 2.3.

Прямая ветвь вольт-амперной характеристики стабилизатора.

$U_{пр}, В$										
$I_{пр}, мА$										

**Внимание! Во избежание теплового пробоя стабилизатора его прямой ток не должен превышать значение тока  $I_{прmax} = 100мА$ .**

## 5. Оформление результатов экспериментов.

5.1. На основе данных табл. 2.1 и 2.3 построить вольт-амперную характеристику стабилизатора. По характеристике определить минимальный ток стабилизации  $I_{ст.min}$ , напряжение стабилизации  $U_{ст}$  и дифференциальное сопротивление на участке стабилизации  $r_{диф}$ .

*Указания к построению: прямую и обратную ветви строить в разных масштабах, согласно результатам измерений.*

Выписать из справочника по полупроводниковым приборам параметры стабилизатора Д815Ж, исследуемого в работе и сравнить их с результатами эксперимента.

5.2. На основе данных табл. 2.1 построить зависимость  $U_H = f(U_{вх})$  при постоянном сопротивлении нагрузки. Определить минимальное значение входного напряжения, при котором напряжение на нагрузке отличается от напряжения стабилизации не более, чем на 10%.

5.3. На основе данных табл. 2.2 построить зависимость  $U_H = f(I_H)$  при постоянном входном напряжении.

Произвести расчет отклонения напряжения на нагрузке при изменении сопротивления нагрузки относительно среднего значения:

при среднем значении тока нагрузки определяется номинальное напряжение на нагрузке  $U_H$ , далее при максимальном и минимальном токе нагрузки определяются относительные отклонения напряжения на нагрузке от номинального:

$$\delta U_1 = \frac{U_{H.min} - U_H}{U_H} \cdot 100\%, \quad \delta U_2 = \frac{U_{H.max} - U_H}{U_H} \cdot 100\%$$

5.4. Для одного из опытов, соответствующих режиму стабилизатора, подсчитать коэффициент полезного действия.

### 6. Содержание отчета;

- название и цель работы,
- исследуемые схемы,
- таблицы измеренных и вычисленных величин,
- вольт-амперная характеристика стабилитрона,
- выводы – графики зависимостей напряжения на нагрузке от входного напряжения при постоянном сопротивлении нагрузки  $U_n = f(U_{вх})|_{R_H = const}$  и от тока нагрузки при постоянном входном напряжении  $U_n = f(I_n)|_{U_{вх} = const}$ .

### 7. Задачи для самостоятельного решения.

*Задача 1.* Определить величину балластного сопротивления  $R_B$  (рис. 2.2) параметрического стабилизатора напряжения на кремниевом стабилитроне, если

$R_H = 1,125$  кОм, стабилитрон типа Д809 с параметрами  $U_{ст} = 9$  В,  $I_{ст. min} = 3$  мА,

$I_{ст. max} = 29$  мА. Напряжение источника питания меняется от  $U_{min} = 12$  В до  $U_{max} = 15$  В.

*Задача 2.* Вычислить величину допустимых колебаний входного напряжения параметрического стабилизатора напряжения, выполненного на кремниевом стабилитроне типа КС175Е с параметрами  $U_{ст} = 7,5$  В,  $I_{ст. min} = 3$  мА,  $I_{ст. max} = 17$  мА. Балластное сопротивление  $R_B = 100$  Ом,  $R_H = 1500$  Ом.

*Задача 3.* Определить величину сопротивления  $R_B$  (рис. 2.2) параметрического стабилизатора напряжения на кремниевом стабилитроне, если сопротивление нагрузки меняется от  $R_{H. min} = 7,0$  кОм до  $R_{H. max} = 9,0$  кОм, стабилитрон типа КС215Ж с параметрами  $U_{ст} = 15$  В,  $I_{ст. min} = 0,5$  мА,  $I_{ст. max} = 8,3$  мА. Напряжение источника питания меняется в пределах от 25 до 5 В.

*Задача 4.* Определить величину балластного сопротивления (рис. 2.2) параметрического стабилизатора напряжения на кремниевом стабилитроне, если сопротивление нагрузки меняется от  $R_{H. min} = 1,0$  кОм до  $R_{H. max} = 3,0$  кОм, стабилитрон типа КС210Ж с параметрами  $U_{ст} = 10$  В,  $I_{ст. min} = 0,5$  мА,  $I_{ст. max} = 13$  мА. Напряжение источника питания меняется в пределах  $U = 15 - 25$  В.

*Задача 5.* Вычислить величину допустимых колебаний входного напряжения параметрического стабилизатора напряжения, выполненного на кремниевом стабилитроне типа Д814Г с параметрами  $U_{ст} = 12$  В,  $I_{ст. min} = 3$  мА,  $I_{ст. max} = 40$  мА. Балластное сопротивление  $R_B = 100$  Ом,  $R_H = 744$  Ом.

### Контрольные вопросы

1. Дайте классификацию стабилизаторов.
2. Изобразите вольт-амперную характеристику стабилитрона.



3. Перечислите основные параметры стабилизаторов.
4. Как классифицируются стабилизаторы напряжения?
5. Начертите схему параметрического стабилизатора напряжения.
6. Начертите схему непрерывного компенсационного стабилизатора напряжения.
7. Объясните работу параметрического стабилизатора напряжения.
8. Начертите схему параметрического стабилизатора тока.
9. Можно ли стабилитрон включать в качестве выпрямительного диода?
10. Можно ли стабилитроны включать последовательно или параллельно?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### Исследование схем усилительных каскадов на биполярном транзисторе

#### 1. Цели и задачи работы.

*Цель:* ознакомление с работой биполярного транзистора в усилительных каскадах с общим эмиттером и общим коллектором.

*Задачи:* в результате выполнения лабораторной работы студенты должны:

*знать* основы работы и схемы включения биполярных транзисторов в усилительных каскадах, параметры и характеристики усилителей;

*уметь* выполнять простые расчеты схем, содержащих биполярные транзисторы;

*иметь навыки* проведения экспериментов с электронными схемами и работы на контрольно-измерительном оборудовании.

#### 2. Теоретическая часть.

**Биполярный транзистор** – это полупроводниковый прибор с двумя p-n переходами и тремя электродами (эмиттер, база, коллектор), применяемый для усиления мощности электрических сигналов. В зависимости от порядка чередования областей с дырочной (p) и электронной (n) проводимостями, образующих p-n переходы, различают транзисторы двух типов: p-n-p и n-p-n (на рис.3.1 показаны их условные изображения на схемах).

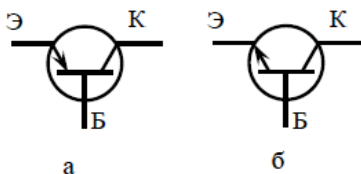


Рис.3.1. Условные изображения транзисторов p-n-p(а) и n-p-n(б) типа

Поскольку у транзистора только три электрода, при рассмотрении транзистора как четырехполюсника и включения его в цепь, один из выводов будет общим для входной и выходной цепи. Основные характеристики транзистора – зависимость входного тока от входного напряжения (входные характеристики) и зависимость выходного тока от выходного напряжения (выходные характеристики) – см. рис.3.4.

Основные параметры транзистора:

максимальный ток коллектора  $I_{к, \max}$ ,

максимальное напряжение на коллекторе  $U_{кз, \max}$

максимальная мощность, выделяемая на коллекторном переходе

$P_{к, \max}$

дифференциальные h-параметры транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером:

$$h_{11э} = \frac{\Delta U_{6э}}{\Delta I_6} \Big|_{U_{кэ} = const} - \text{входное сопротивление}$$

$$h_{12э} = \frac{\Delta U_{6э}}{\Delta U_{кэ}} \Big|_{I_6 = const} - \text{коэффициент обратной связи по напряжению}$$

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_6} \Big|_{U_{кэ} = const} - \text{коэффициент усиления по току}$$

$$h_{11э} = \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кэ}} \Big|_{I_6 = const} - \text{выходная проводимость.}$$

Транзистор – управляемый нелинейный элемент. Небольшое изменение тока базы ведет к значительному изменению выходной характеристики транзистора. Схемы включения транзистора показаны на рис. 3.2. В усилителях мощности применяется схема включения с общим эмиттером, в которой происходит усиление напряжения и тока. Эта схема инвертирует усиливаемый сигнал.

В схеме включения с общим коллектором инверсии сигнала не происходит, коэффициент усиления по напряжению меньше 1, применяется для усиления тока и для согласования высокоомных источников (предыдущих каскадов) с низкоомными приемниками.

Схема включения с общей базой применяется в регулирующих устройствах.

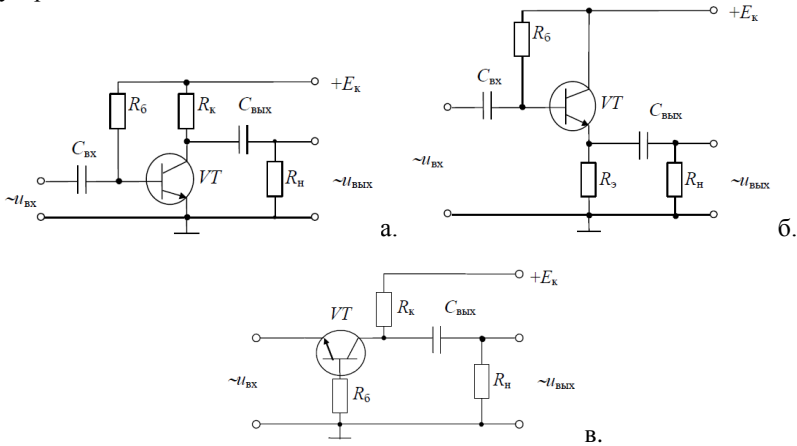


Рис.3.2 Схемы включения транзистора с общим эмиттером (а), общим коллектором (б), общей базой (в)

Графо-аналитический анализ работы транзистора в усилительном каскаде по схеме с общим эмиттером показан на рис. 3,3.

Для получения на выходе неискаженного сигнала рабочая точка транзистора в состоянии покоя выбирается на середине входной характеристики (точка А') и середине нагрузочной прямой (точка А).

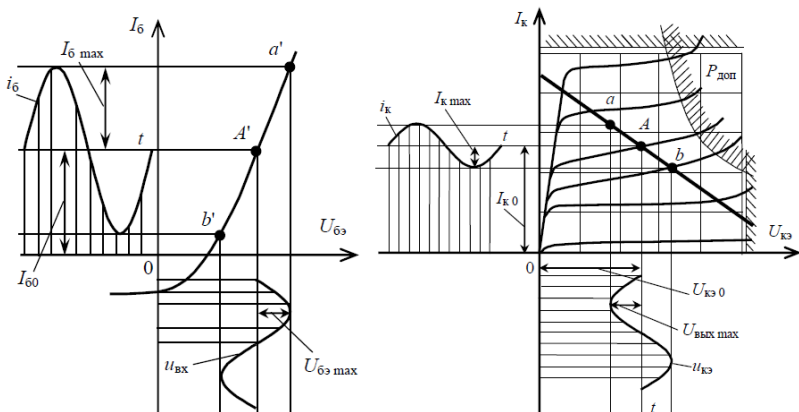


Рис.3.3. Входная и выходные характеристики транзистора по схеме с общим эмиттером, преобразование входного сигнала в выходной и выбор рабочей точки покоя (А) транзистора на середине линейных участков входной характеристики и нагрузочной прямой

Если амплитуда входного сигнала не очень большая, ток базы  $I_{\text{б}}$  изменяется пропорционально напряжению базы  $U_{\text{бэ}}$  (точки  $a'$  -  $b'$ ), рабочая точка на нагрузочной прямой перемещается в пределах  $a$  -  $b$  и напряжение на выходе  $U_{\text{кэ}}$  изменяется пропорционально входному. При этом в схеме с общим эмиттером напряжение на выходе будет в противофазе с входным напряжением.

Смещение рабочей точки или повышение амплитуды входного напряжения приводит к искажению выходного сигнала.

Характеристики полупроводниковых приборов в сильной степени зависят от температуры. При повышении температуры рабочая точка смещается в сторону увеличения тока базы, что может привести к искажению выходного сигнала. Введение отрицательной обратной связи, хотя и уменьшает коэффициент усиления, но повышает его стабильность. Подобную схему усилительного каскада с общим эмиттером и температурной стабилизацией предстоит исследовать в настоящей лабораторной работе.

**Усилитель** – электронное устройство, предназначенное для усиления напряжения, тока, мощности. В структурную схему усилителя входят управляемый нелинейный элемент, источник электрической энергии, резистор. Работа усилителя состоит в преобразовании электрической энергии источника тока в энергию выходного сигнала за счет изменения сопротивления управляемого элемента по закону, задаваемому входным сигналом. Основные параметры усилителя коэффициенты усиления по напряжению ( $K_u = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ ), току ( $K_I = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$ ) и мощности ( $K_P = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ ), ко-

эффицент полезного действия ( $\eta = P_{\text{вых}}/P_{\text{ист}}$ ), входное ( $R = U_{\text{ex}}/I_{\text{ex}}$ ) и выходное ( $R = \Delta U_{\text{вых}}/\Delta I_{\text{вых}}$ ) сопротивления.

Основные характеристики усилителя – амплитудная, амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ) (рис. 3.3).

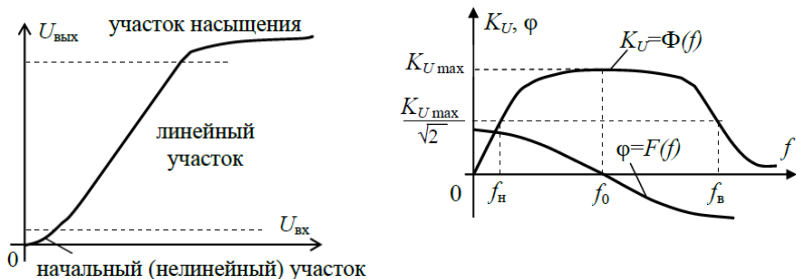


Рис.3.4. Амплитудная характеристика усилителя (слева) и АЧХ и ФЧХ (справа)

По линейному участку амплитудной характеристики можно судить, какой входной сигнал усиливается без искажений. При больших амплитудах входного сигнала амплитудная характеристика становится нелинейной, что приводит к нелинейным искажениям.

АЧХ усилителя дает представление о его частотных свойствах. Как видно из рис.3.4, коэффициент усиления по напряжению зависит от частоты усиливаемого сигнала. Это связано с реактивными элементами усилителя – конденсаторами связи, паразитными емкостями и емкостью р-п-переходов транзистора. Диапазон частот  $f_n - f_b$ , в котором коэффициент усиления  $K_U \geq \frac{K_{U\text{max}}}{\sqrt{2}}$  называется полосой пропускания усилителя.

Частотные искажения оценивают коэффициентами частотных искажений на нижних

$$M_n = \frac{K_0}{K_n} = \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_n \tau_n)^2}}$$

и верхних частотах

$$M_b = \frac{K_0}{K_b} = \sqrt{1 + (\omega_b \tau_b)^2}$$

где  $\tau_n$  и  $\tau_b$  – постоянные времени усилительного каскада на нижних и верхних частотах соответственно.

Реактивные элементы создают также частотно-зависимый фазовый сдвиг между выходным и входным напряжениями, который характеризуется фазо-частотной характеристикой.

### 3. Описание лабораторного оборудования.

Экспериментальные исследования проводятся на универсальном лабораторном стенде.

При сборке электрической цепи используется следующее оборудование:

1) источник постоянного напряжения БП-15 со встроенным вольтметром, обеспечивающий изменение напряжения в пределах  $(-15 \div +15\text{В})$ , расположенным в “Блоке источников постоянного тока”, используемый в качестве источника питания;

2) генератор сигналов низкой частоты со встроенными вольтметром и частотомером, расположенный в “Блоке цифровых устройств” и предназначенный для подачи напряжения на вход исследуемого усилителя. Регулировка амплитуды входного напряжения производится в пределах от  $0,005\text{В}$  до  $5\text{В}$  с помощью переключения выходов генератора и ручки “Напряжение”, изменение частоты сигнала возможно в пределах от  $1\text{Гц}$  до  $99\text{кГц}$  с помощью кнопок переключения диапазонов и ручки точной подстройки частоты;

3) биполярные КТ3102 n-p-n-типа (VT1) или КТ3107 p-n-p-типа (VT2) транзисторы, подключаются к “Блоку аналоговых устройств”. На рис.3.5 и 3.6 приведены входные и выходные характеристики транзисторов.

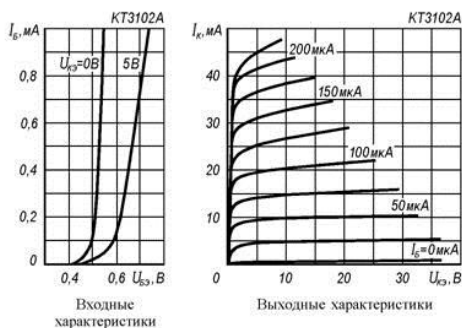


Рис.3.5. Входные и выходные характеристики транзистора КТ3102А

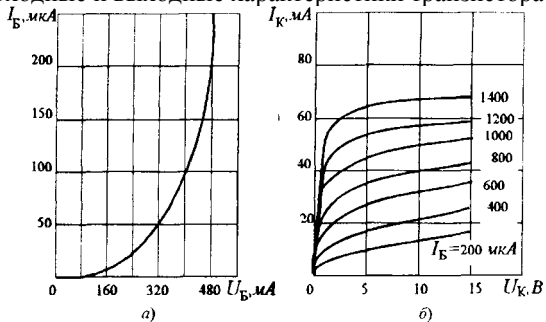


Рис.3.6. Входные и выходные характеристики транзистора КТ3107А

4) резисторы  $R_{61}$  ( $16\text{кОм}$ ) и  $R_{62}$  ( $1\text{кОм}$ ), а также регулируемый реостат  $R_{63}$  ( $22\text{кОм}$ ), расположенные в “Блоке аналоговых устройств” и

предназначенные для реализации делителя напряжения в цепи базы транзистора для обеспечения его работы в режиме покоя, то есть при отсутствии входного сигнала;

5) резистор  $R_k$  (510 Ом), расположенный в “Блоке аналоговых устройств” и включаемый в цепь коллектора для создания выходного напряжения усилителя с общим эмиттером (ОЭ);

6) резистор  $R_3$  (43 Ом), расположенный в “Блоке аналоговых устройств” и включаемый в цепь эмиттера для уменьшения влияния температуры на характеристики усилительного каскада;

7) резистор  $R_n$  (1кОм), расположенный в “Блоке аналоговых устройств”, включаемый в качестве нагрузки;

8) конденсатор  $C_3$  (10 мкФ), расположенный в “Блоке нагрузок” и шунтирующий резистор  $R_3$  для ослабления отрицательной обратной связи по переменному току;

9) разделительные конденсаторы  $C_1$  (50 мкФ) и  $C_2$  (50 мкФ), расположенные в “Блоке нагрузок” и включаемые на входе и выходе каскада, служащие для разделения по постоянному току генератора и каскада, и нагрузки и каскада;

10) тумблеры SA3, SA4, SA5, расположенные в “Блоке коммутации”

11) электронные измерительные приборы с автоматическим выбором предела измерения и рода тока, расположенные в “Блоке измерительных приборов”

а) pV – вольтметр с верхним пределом измерения 250 В, предназначенный для измерения величины выходного напряжения;

12) электронный осциллограф, предназначенный для изучения формы выходного напряжения.

#### **4. Порядок выполнения работы**

##### **4.1. Исследование усилительного каскада по схеме с общим эмиттером и температурной стабилизацией**

Соберите электрическую цепь (рис.3.7) усилительного каскада по схеме с общим эмиттером на одном из предложенных транзисторов.

*На рис.3.7 полярность включения источника питания показана для транзистора n-p-n-типа. При использовании транзистора p-n-p-типа полярность следует изменить на противоположную.*

К гнездам схемы Г1 – Г2 подключается генератор, к гнездам Г3 – Г4 – осциллограф и вольтметр.

##### **4.1.1. Выбор рабочей точки транзистора для работы в режиме А.**

Установите напряжение питания  $E_k$  в пределах 10 – 15 В по указанию преподавателя.

В режиме покоя (выключатели SA3 и SA4 разомкнуты) подключите вольтметр к выводам эмиттер и коллектор транзистора. Перемещая движок переменного резистора в цепи базы RБ3 установите напряжение на коллек-

торе  $U_{кз}$  порядка  $E_k/2$ , что будет соответствовать режиму А работы транзистора в усилительном каскаде. Вольтметр отключите.

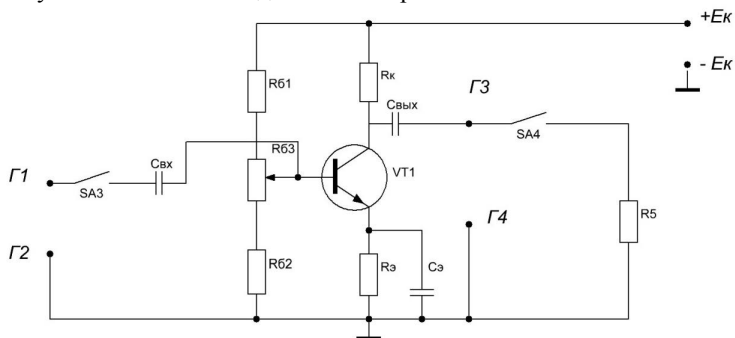


Рис.3.7. Схема усилительного каскада с общим эмиттером.

#### 4.1.2. Снятие амплитудных характеристик усилителя

К входным зажимам Г1-Г2 подключите генератор низкой частоты (выключатель SA3 замкнут), установив на нем синусоидальное напряжение, к выходным зажимам подключите вольтметр и осциллограф.

Установите частоту входного сигнала в диапазоне  $1 \div 10$  кГц. Изменяя величину входного напряжения вращением ручки на лицевой панели генератора, произведите измерения напряжений на входе и выходе каскада. Результаты измерений занести в табл.3.1.

Измерений следует произвести в режиме холостого хода (выключатель SA4 разомкнут) и под нагрузкой (выключатель замкнут).

Таблица 3.1

Амплитудная характеристика усилителя

Режим холостого хода	Измерено	$U_{вх}$								
		$U_{вых}$								
	Вычислено	$K_{U_{XX}}$								
		$I_{вх}$								
Режим нагрузки	Измерено	$U_{вх}$								
		$U_{вых}$								
	Вычислено	$K_U$								
		$I_{вх}$								
		$I_{вых}$								
		$K_I$								
		$K_P$								

Коэффициенты усиления определяется по приведенным выше формулам, величину входного тока  $I_{вх} = U_{вх}/R_{вх}$ , где входное сопротивление усилительного каскада с общим эмиттером  $R_{вх} \approx h_{11э}$ , значение которого возьмите из справочника. Выходной ток  $I_{вых} = U_{вых}/R_n$ . Коэффициент усиления по мощности  $K_P = K_I \cdot K_U$ .



Наблюдая за изменением амплитуды и формы выходного сигнала на осциллографе, зафиксировать величину входного напряжения, при котором форма выходного сигнала начинает отличаться от синусоидальной.

По результатам измерений построить амплитудные характеристики усилительного каскада в режиме холостого хода и под нагрузкой.

### 4.1.3. Построение амплитудно-частотной характеристики

Установите на выходе генератора величину входного напряжения не более 50мВ и поддерживайте ее постоянной. Изменяя частоту входного сигнала от 1Гц до 99кГц, получите экспериментальные данные для построения амплитудно-частотной характеристики усилительного каскада. Результаты измерений занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Амплитудно-частотная характеристика												
U <sub>вх</sub> =												
f, Гц	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000	99000
U <sub>вых</sub> , В												
K <sub>U</sub>												
M												

Коэффициент частотных искажений можно оценить по формуле  $M = \frac{K_{Umax}}{K_U}$ .

По результатам эксперимента построить амплитудно-частотную характеристику усилительного каскада. По графику определить граничные частоты и полосу пропускания.

*Указания:* при построении АЧХ ось частоты отложить в логарифмическом масштабе.

### 4.2. Исследование усилительного каскада по схеме с общим коллектором

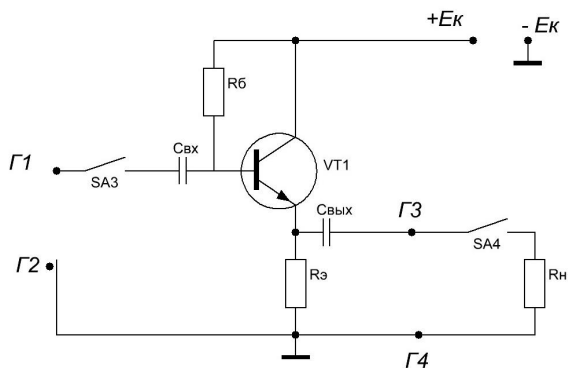


Рис.3.8. Схема усилительного каскада с общим коллектором

Соберите схему усилительного каскада с общим коллектором (рис.3.8). В схему включите следующие резисторы: в цепь базы  $R_6=39\text{кОм}$ , в цепь эмиттера  $R_3=1\text{кОм}$ , в нагрузку  $R_n=6,8\text{кОм}$ .

Проведите измерения и эксперименты, аналогичные п.4.1.2, результаты измерений занесите в табл. 3.3.

Наблюдая на осциллографе форму выходного сигнала, определить, при каком входном напряжении появляются нелинейные искажения.

Таблица 3.1

Амплитудная характеристика эмиттерного повторителя

Режим холостого хода	Измерено	$U_{вх}$										
		$U_{вых}$										
	Вычислено	$K_{U_{XX}}$										
		$I_{вх}$										
Режим нагрузки	Измерено	$U_{вх}$										
		$U_{вых}$										
	Вычислено	$K_U$										
		$I_{вх}$										
		$I_{вых}$										
		$K_I$										
		$K_P$										

Коэффициенты усиления определяется по приведенным выше формулам. Входное сопротивление каскада приблизительно оценить по формуле  $R_{вх} = R_3(1 + h_{21э})$ .

По данным табл.3.1 построить амплитудные характеристики усилительного каскада в режиме холостого хода и под нагрузкой.

С помощью осциллографа оценить величину входного напряжения, при котором появляются нелинейные искажения.

## 5. Содержание отчета;

- название и цель работы,
- исследуемые схемы,
- таблицы измеренных и вычисленных величин,
- амплитудные характеристики усилительных каскадов,
- осциллограммы входного и выходного напряжения при возникновении нелинейных искажений;
- амплитудно-частотная характеристика усилительного каскада с общим эмиттером, на которой отметить полосу пропускания;
- выводы.

## Контрольные вопросы

1. Как правильно включать в схемы транзисторы  $p-n-p$  и  $n-p-n$  типа?
2. Перечислите режимы работы усилительных каскадов и покажите на выходных характеристиках транзистора рабочие точки режимов.

3. В чем преимущества и недостатки режима А транзистора в усилительном каскаде?
4. Возможно ли в режиме В получить неискаженный сигнал на выходе?
5. Классификация усилительных каскадов.
6. Влияние обратных связей на характеристики и свойства усилителей.
7. Поясните назначение каждого элемента в схеме рис. 3.7.
8. Объясните вид экспериментально снятых зависимостей.
9. В каких случаях применяется схема усилительного каскада с общим коллектором?
10. Почему для определения входного и выходного сопротивлений усилительного каскада используются разные формулы?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

### Исследование работы транзистора в ключевом режиме

#### 1. Цели и задачи работы.

*Цель:* Знакомство с электронными ключами на транзисторах.

*Задачи:* в результате выполнения лабораторной работы студенты должны:

*знать* схемы электронных ключей, области их применения, преимущества работы транзистора в ключевом режиме;

*уметь* составлять и анализировать схемы с транзисторами, работающими в ключевом режиме;

*владеть навыками* сборки схем электроники, выбора средств и методов измерений в электронных схемах и обработки результатов эксперимента.

#### 2. Теоретическая часть.

Режим работы А транзистора (см. рис.3.3, лабораторная работа 3) характеризуется низким (менее 50%) коэффициентом полезного действия, то есть большая часть потребляемой от источника энергии выделяется в виде тепла на элементах схемы, в частности, на коллекторном переходе, что приводит к существенному нагреву транзистора, смещению его характеристик и требует дополнительных мер по отводу тепла.

Ключевой режим работы транзистора состоит в том, что большую часть времени транзистор находится либо в состоянии отсечки, либо насыщения. Лишь короткое время занимает переход из одного состояния в другое.

На рис.4.1 представлена схема инвертирующего ключа на биполярном транзисторе. Схема собрана на основе усилительного каскада с общим эмиттером. На выходных характеристиках транзистора проведена нагрузочная прямая по уравнению  $E_K = U_{K3} + I_K R_K$ .

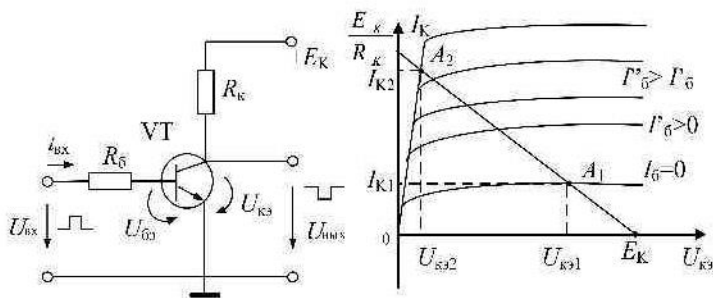


Рис.4.1. Инвертирующий ключ на биполярном транзисторе

Работа транзистора в ключевом режиме характеризуется двумя состояниями. В **режиме отсечки** – точка  $A_1$  на выходных характеристиках – напряжение на коллекторе  $U_{вых} = U_{кэ1} \approx E_{к}$ , а ток коллектора  $I_{к1}$  равен начальному коллекторному току. Режим отсечки реализуется при отрицательных потенциалах базы  $U_{бэ} \leq 0$ , когда ток базы  $I_b = 0$ .

Перевод транзистора в точку  $A_2$  – **режим насыщения** – реализуется при положительных потенциалах базы. При этом ток базы определяется сопротивлением резистора  $R_b$  и  $I_b = U_{бэ} / R_b$ , поскольку сопротивление открытого эмиттерного перехода мало. Напряжение на коллекторе  $U_{кэ2} \approx 0$ , а ток коллектора  $I_{к2} \approx E_{к} / R_{к}$  определяется величиной нагрузочного резистора. Из режима отсечки в режим насыщения транзистор переводится подачей на вход положительного напряжения, обеспечивающего ток базы  $I_b > I_{бнас}$ .

Как следует из вышеизложенного, повышение входного напряжения (потенциала базы) ведет к понижению выходного (потенциала коллектора), и наоборот. Поэтому такой ключ называют инвертирующим.

Включение транзистора по схеме с общим коллектором (рис.4.2) позволяет построить повторяющий ключ, в котором режим отсечки реализуется при больших токах базы, а режим насыщения – при отрицательном напряжении на базе.

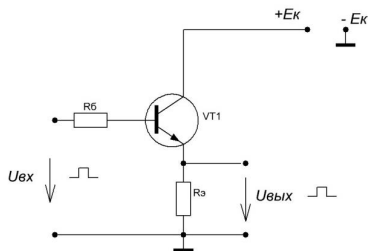


Рис.4.2. Повторяющий ключ на транзисторе

Процесс перехода транзистора из одного состояния в другое (процесс переключения) не происходит мгновенно, занимает какое-то время. Это связано с процессом перезаряда емкостей переходов и процессом накопления (рассасывания) избыточного заряда в области базы. Продолжительность процесса перехода также зависит от того, как глубоко реализуются режимы отсечки и насыщения.

На рис.4.3 показаны этапы переключения транзистора.

При переводе транзистора из закрытого состояния в открытое в интервале задержки включения  $t_0 - t_1$  происходит перезаряд барьерной емкости эмиттерного перехода, длительность задержки определяется постоянной времени входной цепи. На втором этапе  $t_1 - t_2$  происходит перезаряд барьерной емкости коллекторного перехода и накопление неосновных носителей заряда в области базы, коллекторный ток достигает насыщения, и относительно нагрузки процесс включения транзистора можно считать

завершенным. На последнем этапе  $t_2 - t_3$  заканчивается процесс накопления избыточного заряда.

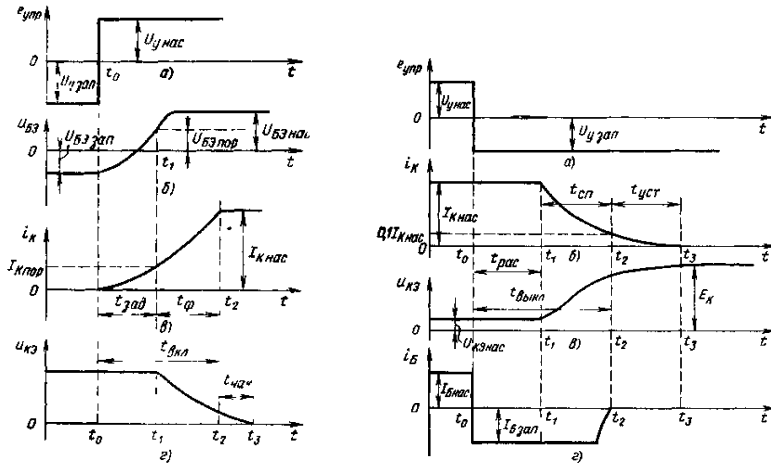


Рис.4.3. Временные диаграммы включения (слева) и отключения (справа) биполярного транзистора

Переход транзистора из режима насыщения в режим отсечки также можно разделить на три этапа. На первом этапе  $t_0 - t_1$  происходит рассасывание избыточного заряда из области базы, транзистор остается в открытом состоянии. На втором этапе формирования спада коллекторного тока  $t_1 - t_2$  происходит уменьшение объемного заряда базы и перезаряд коллекторной емкости. Этап установления стационарного запертого состояния  $t_2 - t_3$  имеет место в случае, когда после выключения транзистор попадает в режим глубокой отсечки.

Следует отметить, что описанные выше процессы имеют место, когда частота переключения транзистора ниже частоты, рассчитанной из условия полного завершения всех стадий его включения – выключения

$$f_{\text{ком}} < \frac{1}{2(t_3 - t_0)}$$

Электронные ключи на транзисторах, не только биполярных, но и полевых, нашли широкое применение как в аналоговой, так и в цифровой электронике.

Так, при разработке интегральных микросхем наибольшее распространение получили базовые элементы на основе транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) и эмиттерно-связанной логики с биполярными транзисторами (ЭСЛ), а также с логикой на однотипных полевых транзисторах (n=МОП и p-МОП) и логикой на комплементарных полевых транзисторах (КМОП).

В аналоговых схемах транзисторы часто выполняют функции коммутирующего элемента. Например, в схемах импульсных стабилизаторов

постоянного напряжения подобный ключ выполняет роль регулирующего элемента в силовой цепи, режим работы которого задается электронными ключами схемы управления.

### **3. Описание лабораторного оборудования.**

Экспериментальные исследования проводятся на универсальном лабораторном стенде.

При сборке цепи используется следующее оборудование:

1) источник постоянного напряжения БП-30 с регулируемым напряжением от 0 до 30 В со встроенным вольтметром, расположенный в “Блоке источников постоянного тока”, используемый в качестве источника питания;

2) источник постоянного напряжения БП-15 со встроенным вольтметром, обеспечивающий изменение напряжения в пределах (-15 ÷ +15В), расположенный в “Блоке источников постоянного тока”, используемый для создания входного напряжения;

3) генератор сигналов низкой частоты со встроенными вольтметром и частотомером, расположенный в “Блоке цифровых устройств” и предназначенный для подачи напряжения на вход исследуемой схемы. Регулировка амплитуды входного напряжения производится в пределах от 0,005В до 5В с помощью переключения выходов генератора и ручки “Напряжение”, изменение частоты сигнала возможно в пределах от 1Гц до 99кГц с помощью кнопок переключения диапазонов и ручки точной подстройки частоты;

4) биполярные КТ3102 n-p-n-типа (VT1) или КТ3107 p-n-p-типа (VT2) транзисторы, подключаются к “Блоку аналоговых устройств”;

5) резистор с сопротивлением 510 Ом, расположенный в “Блоке аналоговых устройств”, используемый в качестве нагрузочного резистора  $R_k$  исследуемой схемы;

6) резистор сопротивлением 2 кОм, расположенный в “Блоке аналоговых устройств”, включаемый в цепь базы;

7) электронные измерительные приборы с автоматическим выбором предела измерения и рода тока, расположенные в “Блоке измерительных приборов”:

а) рА1 и РА2 – амперметры с автоматическим выбором предела измерения;

б) рV1– вольтметр с автоматическим выбором предела измерения;

8) электронный осциллограф, предназначенный для изучения формы выходного напряжения.

### **4. Порядок выполнения работы**

Перед сборкой цепи убедитесь в отключенном состоянии стенда – ручка выключателя стенда находится в нижнем положении, индикаторные лампы не горят.

#### 4.1. Изучение режимов перевода транзистора в открытое и закрытое состояния

Соберите схему инвертирующего ключа на биполярном транзисторе (рис.4.4). Осциллограф в этом опыте подключать не нужно.

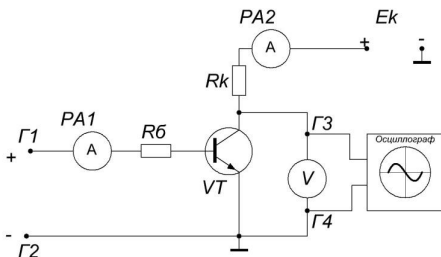


Рис.4.4. Схема эксперимента

Установите напряжение питания схемы  $E_k$  порядка 15 – 20 В. Поскольку на вход схемы напряжение еще не подано и ток базы  $I_b=0$ , транзистор находится в режиме отсечки, показания вольтметра будут близки к значению напряжения питания, а ток коллектора  $I_k \approx 0$ .

Подключите к входу Г1 – Г2 источник БП-15 и постепенно повышая входное напряжение, следите за показаниями приборов, записывая их в табл.1.

Таблица 1

Изменение состояния транзистора при изменении тока базы

$U_{вх}$	0								
$I_b$	0								
$U_{кэ}$									
$I_k$									

В эксперименте следует определить значение тока базы  $I_{б,нас}$ , при котором транзистор переходит в режим насыщения, напряжение на коллекторе при этом становится близким к нулю, а ток коллектора достигает максимума.

#### 4.2. Изучение переходных процессов при переключениях транзистора, работающем в ключевом режиме.

Подключите к входу, гнездам Г3 – Г4 осциллограф, а к гнездам Г1 – Г2 – генератор низкочастотных сигналов. На генераторе установите род сигнала – прямоугольные импульсы, амплитуду напряжения выставьте процентов на 20-30 выше значения входного напряжения из табл.1, обеспечивающем переключение транзисторного ключа. Частоту сигнала установите в пределах 100 – 500 Гц.

Зарисуйте в масштабе осциллограмму выходного напряжения и определите продолжительность переходов транзистора из режима отсечки в режим насыщения и обратно.



### 4.3. Получение почти прямоугольных импульсов

На вход схемы подайте синусоидальное напряжение с генератора, частоту напряжения установите в пределах 50 – 500 Гц. Постепенно повышая амплитуду напряжения генератора, на осциллографе наблюдайте за выходным напряжением. Определите, при какой амплитуде входного напряжения форма выходного напряжения становится почти прямоугольной. В этом опыте напряжение питания схемы желательно уменьшить.

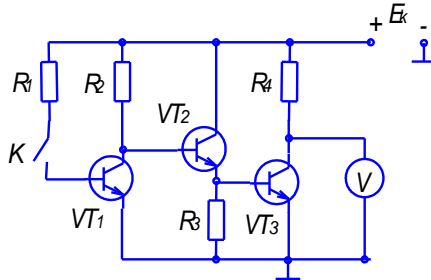
### 5. Содержание отчета.

1. Название и цель работы.
2. Электрическая схема эксперимента.
3. Таблицы с измеренными и вычисленными данными.
4. Осциллограммы входного и выходного напряжения.
5. Вывод по проделанной работе.

### 6. Задачи для самостоятельного решения.

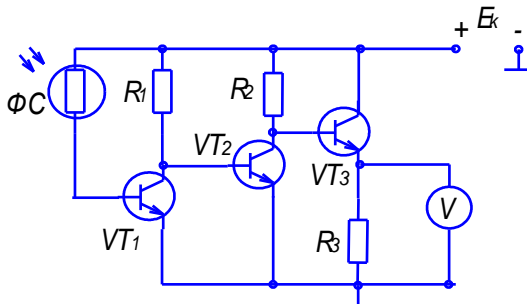
*Задача 1.* В схеме транзисторы работают в ключевом режиме.

Ответить на вопрос : замкнут или разомкнут ключ  $K$ , если показания вольтметра  $V = 0$  В? Пояснить принцип действия схемы.

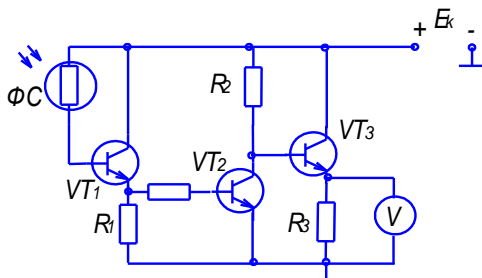


*Задача 2.* В схеме транзисторы работают в ключевом режиме.

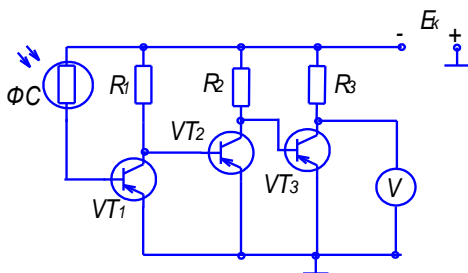
Ответить на вопрос : освещен фоторезистор или нет, если показание вольтметра  $V = 0$  В? Пояснить принцип действия схемы.



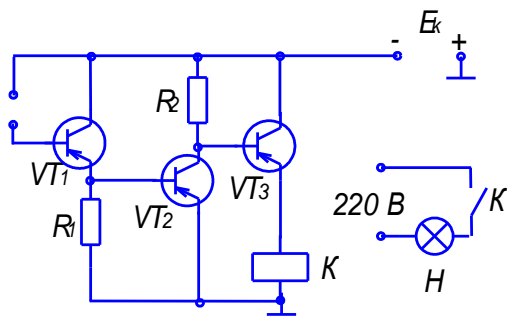
**Задача 3.** В схеме транзисторы работают в ключевом режиме.  
 Ответить на вопрос: освещен фоторезистор в схеме или нет, если показания вольтметра  $V = E_k$ ? Пояснить принцип действия схемы.



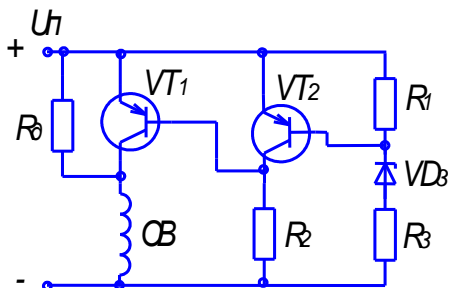
**Задача 4.** В схеме транзисторы работают в ключевом режиме.  
 Ответить на вопрос : как изменятся показания вольтметра при освещении фоторезистора? Пояснить принцип действия схемы.



**Задача 5.** В схеме транзисторы работают в ключевом режиме.  
 Загорится или погаснет лампочка, если прикоснуться к контактам X? Пояснит принцип действия схемы.

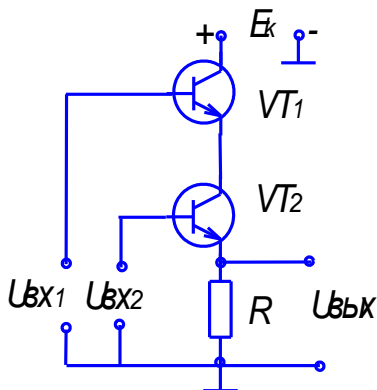


Задача 6. На рисунке изображена схема электронного регулятора напряжения, применяемого в автомобиле.  $OB$  – обмотка возбуждения генератора. Пояснить действие схемы и назначение стабилизатора.



Задача 7. В схеме транзисторы работают в ключевом режиме. Какую логическую операцию выполняет схема, представленная на рисунке?

Составьте таблицу истинности и поясните работу схемы.



### Контрольные вопросы.

1. В чем преимущества электронной системы коммутации перед электромеханической?
2. На каких элементах можно построить электронные ключи?
3. В чем состоит ключевой режим работы биполярного транзистора?
4. Поясните работу полевого транзистора в ключевом режиме.
5. Приведите примеры, помимо описанных выше, использования транзисторов, работающих в ключевом режиме.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### Исследование схем на операционном усилителе

#### 1. Цели и задачи работы.

*Цель:* Изучение операционного усилителя и преобразования аналоговых сигналов с помощью операционного усилителя.

*Задачи:* в результате выполнения лабораторной работы студенты должны:

*знать* характеристики и области применения операционных усилителей;

*уметь* составлять и анализировать схемы преобразователей аналоговых сигналов на операционном усилителе;

*овладеть навыками* подбора элементов, включаемых в схемы с операционным усилителем.

#### 2. Краткие теоретические сведения.

##### 2.1. Назначение и характеристики операционного усилителя

**Операционный усилитель (ОУ)** – это микросхема, содержащая многокаскадный усилитель постоянного тока с дифференциальным входом, по своим характеристикам приближающийся к воображаемому «идеальному усилителю». Упрощенно ОУ изображают с тремя выводами (рис.5.1). Микросхема имеет два входа – инвертирующий (1) и неинвертирующий (2) и выход (3).

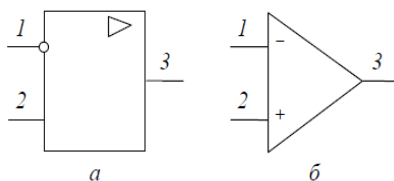


Рис.5.1. Упрощенное изображение ОУ на схемах

#### Основные параметры ОУ:

- очень большое входное сопротивление  $R_{вх} \sim 1 \text{ МОм}$ ,
  - входные токи  $i_1 = i_2 \approx 0$ ,
  - очень большой коэффициент усиления по напряжению в режиме холостого хода  $K_{Ухх} = U_{вых} / U_{диф} \sim 10^5$ ,
  - низкое выходное сопротивление  $R_{вых}$  порядка  $20 \div 200 \text{ Ом}$ ,
  - дифференциальное напряжение в режиме усиления  $U_{диф} = U_2 - U_1 \approx 0$ ,
  - в режиме насыщения напряжение на выходе  $U_{вых} \approx \pm (E_{пит} - 2B)$ .
- Для питания ОУ требуется двухполярный источник.

Помимо рабочих выводов имеется еще ряд выводов.

**Маркировка выводов** (см. рис.5.2):

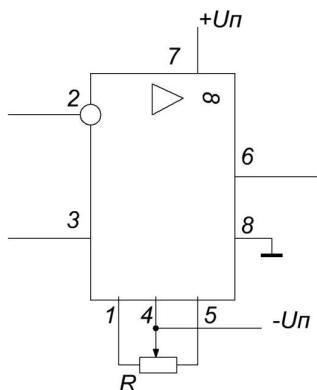


Рис.5.2. Маркировка выводов ОУ К140УД7

- 1 – установка нуля 1
- 2 – инвертирующий вход
- 3 – неинвертирующий вход
- 4 – напряжение питания –
- 5 – установка нуля 2
- 6 – выход
- 7 – напряжение питания +
- 8 – корпус

## 2.2. Схемы включения ОУ:

Для получения заданных коэффициента усиления, а также входного и выходного сопротивлений обычно ОУ охватывают *отрицательной обратной связью (ООС)*, что одновременно повышает устойчивость ОУ (по отношению к самовозбуждению). В зависимости от того, на какой вход подается входное напряжение, различают *инвертирующую* и *неинвертирующую* (рис. 5.3) схемы включения операционного усилителя.

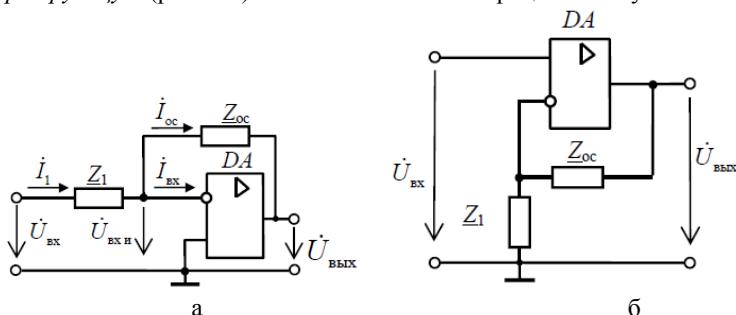


Рис.5.3. Инвертирующая (а) и неинвертирующая (б) схемы включения ОУ

Коэффициенты усиления различных схем включения операционного усилителя в режиме усиления зависят от номинальных значений подключаемых пассивных элементов в цепи обратной связи и могут быть приближенно вычислены следующим образом:

$$\text{для инвертирующей схемы} \quad K_U = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} \approx -\frac{Z_{\text{OC}}}{Z_1}, \quad (5.1)$$

$$\text{для неинвертирующей схемы} \quad K_U = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} \approx 1 + \frac{Z_{\text{OC}}}{Z_1}. \quad (5.2)$$

На рис.5.4 показана амплитудная характеристика ОУ, на которой можно отметить участок, соответствующий режиму усиления, когда выходное напряжение прямопропорционально входному, и режим насыще-

ния, при котором напряжение на выходе на 2- 3 В меньше напряжения питания.

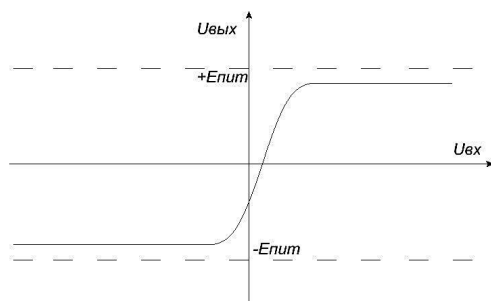


Рис.5.4. Амплитудная характеристика операционного усилителя.

В общем случае амплитудная характеристика не проходит через начало координат. Это может быть связано с изменениями температуры, напряжением питания, синфазными токами и другими факторами. Для установки нуля к ОУ подключается резистор (R на рис.5.2).

### 2.3. Применение ОУ:

Основное назначение ОУ – это использование их для усиления электрических сигналов: в усилителях тока, усилителях напряжения, инверторах напряжения, логарифмических усилителях.

Другим возможным применением ОУ являются устройства, предназначенные для преобразования аналоговых сигналов по простейшим функциональным зависимостям (суммирование, сравнение, интегрирование и дифференцирование сигналов), а также более сложным зависимостям (в диодных ограничителях, аналоговых ключах, различного вида модуляторах, триггерах и т.д.).

**Масштабный усилитель.** На рис. 5.5. представлены схемы масштабных усилителей при подаче входного напряжения на инвертирующий и неинвертирующий вход.

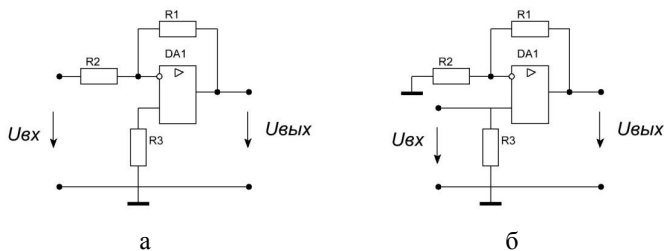


Рис.5.5. Схемы масштабных усилителей

В схеме инвертирующего масштабного усилителя коэффициент усиления (рис.5.5а)

$$K_- = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = -\frac{R_1}{R_2} \quad (5.3)$$

в схеме неинвертирующего усилителя

$$K_+ = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (5.4)$$

Сопротивление резистора  $R_3$  для большинства схем с ОУ подбирается из расчета параллельного соединения резисторов, подключенных к инвертирующему входу. Для схем рис.5.5  $R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ .

**Сумматор** (рис.5.6) предназначен для суммирования двух или нескольких напряжений с разными коэффициентами.

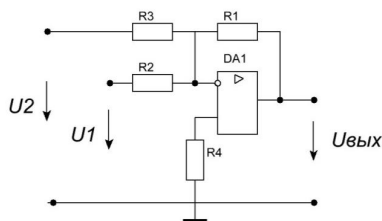


Рис.5.6. Схема сумматора

Напряжение на выходе  $U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{R_1}{R_2} U_1 - \frac{R_1}{R_3} U_2$ .

**Усилитель с дифференциальным входом** является комбинацией инвертирующего и неинвертирующего усилителей, сигнал на выходе равен усиленной разности сигналов на входах. Схема рис.5.7 выполняет математическую операцию вычитания двух напряжений (рис.5.7).

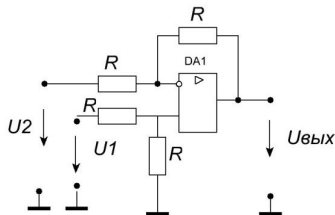


Рис.5.7. Схема реализует функцию  $U_{\text{ВЫХ}} = U_1 - U_2$ .

**Дифференцирующий усилитель** (рис.5.8) и **интегрирующий усилитель** (рис.5.9).

В схеме дифференциатора напряжение на выходе  $u_{\text{ВЫХ}} = -R_1 C_2 \frac{du_{\text{ВХ}}}{dt}$ ,  
в схеме интегратора  $u_{\text{ВЫХ}} = -\frac{1}{R_2 C_1} \int u_{\text{ВХ}} dt$ .

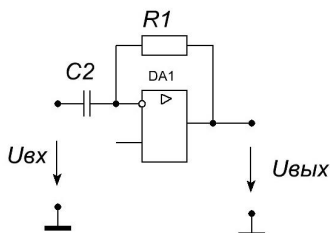


Рис.5.8. Дифференцирующий усилитель

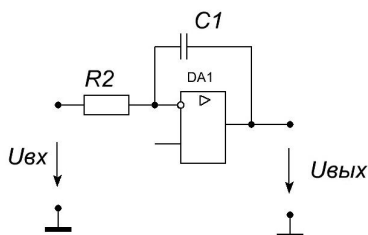


Рис.5.9. Интегрирующий усилитель

На базе операционных усилителей строятся и другие устройства электроники: логарифмический и экспоненциальный усилители, ограничители уровня, источники постоянного тока и источники постоянного напряжения, устройства сравнения аналоговых сигналов, активные фильтры. На рис.5.10 представлена схема **полосового фильтра** первого порядка.

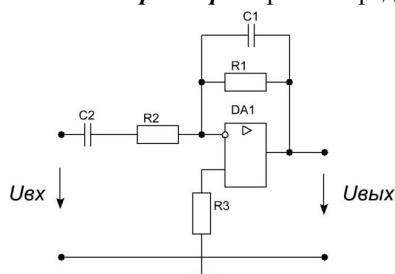


Рис.5.10. Полосовой фильтр с частотами среза  $\omega_B = \frac{1}{R_1 C_1}$  и  $\omega_H = \frac{1}{R_2 C_2}$ .

### 3. Описание лабораторного оборудования.

Экспериментальные исследования проводятся на универсальном лабораторном стенде.

При сборке цепи используется следующее оборудование:

1) источник постоянного напряжения БП-15 со встроенным вольтметром, обеспечивающий изменение напряжения в пределах  $(-15 \div +15 \text{ В})$  расположенный в “Блоке источников постоянного тока” и предназначенный для питания ОУ;

2) генератор сигналов низкой частоты со встроенными вольтметром и частотомером, расположенный в “Блоке цифровых устройств” и предназначенный для подачи напряжения на вход исследуемого усилителя. Регулировка амплитуды входного напряжения производится в пределах от 0,005В до 5В с помощью переключения выходов генератора и ручки “Напряжение”, изменение частоты сигнала возможно в пределах от 1Гц до 99кГц с помощью кнопок переключения диапазонов и ручки точной подстройки частоты;



3) операционный усилитель DA (K140УД7), расположенный в “Блоке аналоговых устройств”;

4) резисторы R1 (6,8 кОм), R2 (33 кОм) и Rн (68 кОм), расположенные в “Блоке аналоговых устройств”;

5) регулируемый реостат R3 (22 кОм), расположенный в “Блоке аналоговых устройств” и используемый в качестве элемента цепи коррекции;

6) резистор R4(5.1 кОм), расположенный в “Блоке цифровых устройств”;

7) конденсаторы 0.01 мкФ и 0.001 мкФ, расположенные в “Блоке аналоговых устройств”;

8) электронные измерительные приборы с автоматическим выбором предела измерения и рода тока, расположенные в “Блоке измерительных приборов”:

а) рV – вольтметр с верхним пределом измерения 250 В, предназначенный для измерения величины выходного напряжения;

9) электронный осциллограф.

#### **4. Порядок выполнения работы**

Перед сборкой цепи убедитесь в отключенном состоянии стенда – ручка выключателя стенда находится в нижнем положении, индикаторные лампы не горят.

*Для исключения выхода из строя ОУ все переключения в электронной цепи и подключения приборов производить при обесточенной цепи.*

*При подключении генератора низкочастотных сигналов блока цифровых устройств, электронных вольтметров и электронного осциллографа с целью уменьшения погрешностей измерений необходимо производить все соединения наиболее короткими проводами, а также соединять вывод «земля» всех устройств, в соответствии с приведенной схемой.*

##### **4.1. Получение амплитудной характеристики инвертирующего усилителя**

Соберите электрическую цепь инвертирующего усилителя на базе ОУ (рис.5.11).

При помощи ручек регулирования напряжения источника БП- 15 по встроенному вольтметру установите  $U_{num} = \pm 15$  В (по указанию преподавателя).

Не подавая на вход схемы напряжения, с помощью резистора R3 установите на выходе напряжение  $U_{вых} = 0$ .

Подключите к входу схемы генератор. Выберите форму сигнала – синусоидальную, частоту в пределах  $f = (1 \div 5)$  кГц. Изменяя величину входного напряжения (напряжения генератора) от минимального значения 0.05 В, фиксируйте напряжение на выходе схемы. Входное напряже-

ние следует изменять таким образом, чтобы выходное изменялось с интервалом порядка 0.5 В. Результаты опыта следует занести в табл.5.1.

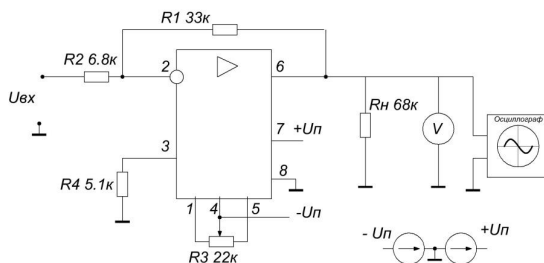


Рис.5.11. Исследование масштабного усилителя

Таблица 5.1

Амплитудная характеристика масштабного усилителя

$U_{вх}, В$																			
$U_{вых}, В$																			
$K_u$																			
$f, кГц$																			

Одновременно следует наблюдать за формой выходного сигнала на экране осциллографа, отметить, при каком входном напряжении возникают нелинейные искажения. Зарисовать в масштабе форму выходного сигнала при максимальном его искажении.

По результатам опыта рассчитать коэффициент усиления и построить амплитудную характеристику  $U_{вых}(U_{вх})$ . Сравнить полученное значение коэффициента усиления  $K_u$  с рассчитанным по формуле (5.3).

#### 4.2. Построение амплитудно-частотной характеристики масштабного усилителя

Установить такую величину напряжения входного сигнала, при которой величина выходного напряжения на частоте 1,1 кГц равняется 5 В (или иное значение по указанию преподавателя). Поддерживая величину напряжения входного сигнала постоянной, изменяйте его частоту от 11 Гц до 99 кГц, для чего в каждом поддиапазоне изменения частоты генератора входного сигнала, выберете четыре значения и варьировать частоту за счет изменения диапазонов (итого 16 значений). Результаты измерений занесите в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Амплитудно-частотная характеристика масштабного усилителя

$U_{вх}, В$																			
$f, Гц$																			
$U_{вых}, В$																			
$K_u$																			
$lgf$																			

По результатам эксперимента построить АЧХ  $K_u(f)$  в логарифмическом масштабе. По графику выделить рабочий диапазон по частоте, в котором коэффициент усиления  $K_u > \frac{K_{u\max}}{\sqrt{2}}$ .

### 4.3. Исследование полосового фильтра

Подключите в схеме рис.5.11 параллельно резистору R1 конденсатор C1 емкостью 0.01 мкФ, а последовательно резистору R2 – конденсатор C2 емкостью 0.001 мкФ. Получим схему полосового фильтра, упрощенно показанную на рис.5.10.

Подайте на вход схемы с генератора напряжение в пределах  $0.5 \div 1$  В и изменяя частоту сигнала во всем диапазоне генератора, снимите амплитудно-частотную характеристику фильтра, заносая результаты измерения в табл. 5.3. При этом необходимо следить, чтобы величина напряжения на входе оставалась неизменной.

Таблица 5.3

Амплитудно-частотная характеристика полосового фильтра

$U_{вх} = \quad, R1 = \quad, C1 = \quad, R2 = \quad, C2 = \quad$											
$f, \text{Гц}$											
$U_{вых}, \text{В}$											
$K_u$											
$lgf$											

По результатам измерений построить АЧХ, на графике определить полосу пропускания и частоты среза на уровне  $K_c = \frac{K_{\max}}{\sqrt{2}}$ . Полученные значения частот среза сравнить с вычисленными по формулам  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ .

### 5. Содержание отчета;

- название и цель работы,
- исследуемые схемы,
- таблицы измеренных и вычисленных величин,
- амплитудная характеристика масштабного усилителя, амплитудно-частотные характеристики усилителя и полосового фильтра,
- сравнение экспериментально полученных результатов с теоретическими,
- и выводы.

### 6. Задачи для самостоятельного решения.

*Задача 1.* На основе операционного усилителя К140УД5Б с собственными значениями коэффициента усиления 2500 и входного сопротивления 3 кОм спроектировать инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления 100 и входным сопротивлением 1 кОм.

*Задача 2.* На основе идеального операционного усилителя построить инвертирующий сумматор и рассчитать его выходное напряжение, если

$R_1=R$ ,  $R_2=2R$ ,  $R_3=4R$ , сопротивление обратной связи равно  $10R$ ,  $U_{вх1}=0,5В$ ,  $U_{вх2}=-1,5 В$ ,  $U_{вх3}=0,4 В$ .

**Задача 3.** Составить схему на операционном усилителе, реализующую функцию

а)  $U_{вых} = 2U_1 - 4U_2$ .

б)  $U_{вых} = 4U_1 - 2U_2$

в)  $U_{вых} = U_1 - 2U_2 - 3U_3$

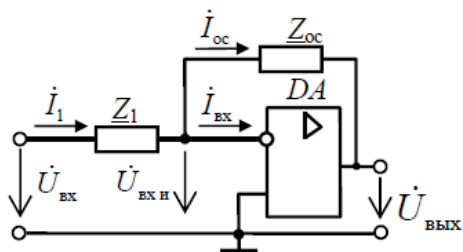
г)  $U_{вых} = 2U_1 + 3U_2 - U_3$

**Задача 4.** Составить схему фильтра низкой частоты с частотой среза  $f_c = 40кГц$  и коэффициентом усиления  $K_u=2$ ,

**Задача 5.** Подберите для схемы сумматора, рис.5.6, резисторы из ряда E12 для осуществления операции  $U_{вых} = - 3U_1 - U_2$ .

### Контрольные вопросы

1. Что такое операционный усилитель?
2. Каковы требования к идеальному усилителю?
3. Как обозначается операционный усилитель на схемах?
4. Как осуществляется питание операционного усилителя?
5. Какую роль в работе операционного усилителя играют обратные связи?
6. Изобразите инвертирующую схему включения операционного усилителя.
7. Перечислите основные характеристики и параметры операционных усилителей.
8. Приведите формулы для расчета коэффициентов усиления различных схем включения операционного усилителя.
9. Изобразите неинвертирующую схему включения операционного усилителя.
10. Каковы существенные различия в коэффициенте усиления инвертирующей и неинвертирующей схем включения ОУ.
11. Опишите назначение представленной схемы и ее элементов.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

### Исследование логических микросхем

#### 1. Цели и задачи работы.

*Цель:* изучение принципов функционирования и использования интегральных микросхем (ИС), относящихся к комплементарной металл-окисел-полупроводник логике (КМОП).

*Задачи:* в результате выполнения лабораторной работы студенты должны:

*знать* физические основы работы, параметры и области применения современных КМОП микросхем;

*уметь* выполнять расчеты состояния логических схем и элементов;

*получить навыки* подключения и работы с логическими микросхемами.

#### 2. Теоретическая часть

**Логические элементы** – основа цифровой электроники. Сигнал на выходе логического элемента (а также сигналы на входах ЛЭ) может принимать только два дискретных значения – условный **0** или условную **1**. Тому или иному дискретному значению соответствует значение напряжения на входе выше или ниже определенного значения<sup>1</sup>. Например, напряжению больше 2В соответствует логический **0**, а меньше 2В – логическая **1** (или наоборот).

Различают три основные логические операции, реализуемые логическим устройством:

- операция умножения (конъюнкции) – операция **И**

$$F = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_k = X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_k = \begin{cases} 0, \exists X_i = 0 \\ 1, \forall X_i = 1 \end{cases}$$

- операция сложения (дизъюнкции) – операция **ИЛИ**

$$F = X_1 + X_2 + \dots + X_k = X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_k = \begin{cases} 0, \forall X_i = 0 \\ 1, \exists X_i = 1 \end{cases}$$

- операция отрицания (инверсии) – операция **НЕ**

$$F = \bar{X} = \begin{cases} 0, X = 1 \\ 1, X = 0 \end{cases}$$

и вспомогательная операция **ЗАПРЕТ**:

$$F = \begin{cases} 0, & x_2 = 1 \\ x_1, & x_2 = 0 \end{cases}$$

---

<sup>1</sup> В цифровой электронике реализуются разные способы задания логических **0** и **1**. Логической **1** может соответствовать:

- высокий уровень напряжения
- низкий уровень напряжения
- переход от низкого уровня напряжения к высокому
- переход от высокого уровня напряжения к низкому.

Чаще применяется первый из перечисленных, который применяем в настоящей лабораторной работе.

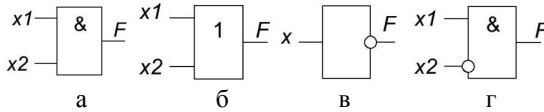


Рис.6.1. Обозначения логических элементов **И**(а), **ИЛИ** (б), **НЕ** (в), **ЗАПРЕТ** (г)

Обозначения логических элементов, реализующих приведенные операции **И**, **ИЛИ**, **НЕ** и **ЗАПРЕТ** представлены на рис 6.1. Кружочек в обозначениях цифровых микросхем означает инверсию сигнала на этом входе или выходе.

Однако, более универсальными являются элементы **И-НЕ** и **ИЛИ-НЕ** (рис.6.2), используя любой из этих вариантов можно составить любую логическую операцию. В этом случае все цифровые микросхемы одной серии составляются из однотипных элементов и требуют одинаковое напряжение питания, логическим **0** и **1** соответствуют одинаковые уровни напряжения.

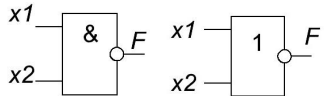


Рис.6.2. Изображения элементов **И-НЕ** и **ИЛИ-НЕ**.

В настоящей работе исследуются логические микросхемы, выполненные по технологии КМОП. Сокращение КМОП – это начальные буквы четырех слов из полного определения: комплементарные (взаимодополняющие) полевые транзисторы со структурой металл – окисел - полупроводник. В качестве базового элемента в этих микросхемах используются ключевые схемы, построенные на комплементарных МОП-транзисторах. В таких микросхемах используются пары МОП-транзисторов с каналами разных типов, включенных последовательно с источником питания, при этом затворы парных транзисторов объединяются. В результате при любом входном сигнале (**0** или **1**) один из транзисторов открыт, а другой закрыт и ток от источника отсутствует. Ток потребляется только в момент переключения, чем достигается высокая экономичность микросхем.

В качестве примера функционирования КМОП ИС на рис. 6.3а,б приведены принципиальные электрические схемы, реализующие логические операции **2ИЛИ-НЕ** и **2И-НЕ** соответственно. Для упрощения на приведенных схемах не показаны элементы входных и выходных цепей ключа.

Для реализации функции **2ИЛИ-НЕ** (рис.6.3а) используется параллельное включение МОП транзисторов n-типа ( $VT_2, VT_4$ ) и последовательное транзисторов p-типа ( $VT_1, VT_3$ ). При подаче на вход  $X_1$  логической **1** (высокий уровень сигнала) открывается транзистор  $VT_2$  и закрывается транзистор  $VT_1$ . В результате на выходе сформируется логический **0**. При подаче на входы  $X_1$  и  $X_2$  логического **0** транзисторы  $VT_2$  и  $VT_4$  закро-

ются, но откроются транзисторы  $VT1$  и  $VT3$ , в результате на выходе схемы сформируется логическая **1**.

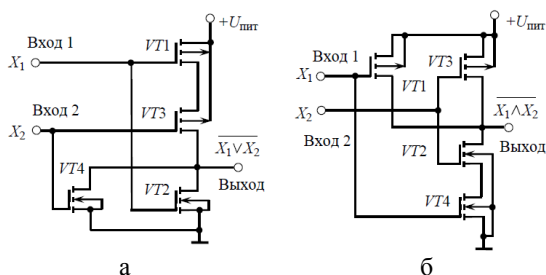


Рис.6.3. Схемы на МОП-транзисторах, реализующие операции **2ИЛИ-НЕ** (а) и **2И-НЕ** (б)

В схеме рис.6.3б, реализующей функцию **2И-НЕ**, транзисторы  $VT1$  и  $VT3$  включены параллельно, транзисторы  $VT2$  и  $VT4$  включены последовательно. При подаче на вход 1 логического **0** откроется транзистор  $VT1$  и закроется транзистор  $VT4$ . В результате на выходе будем иметь логическую **1**. Аналогично подача на вход 2 логического **0** приведет к открытию транзистора  $VT3$  и закрытию транзистора  $VT2$ , на выходе будет логическая **1**. При подаче на оба входа логической **1** транзисторы  $VT1$  и  $VT3$  закроются, а транзисторы  $VT2$  и  $VT4$  откроются – на выходе получим логический **0**.

Микросхемы КМОП имеют следующие достоинства: малая потребляемая мощность в диапазоне частот до 2 МГц (мощность, потребляемая в статическом режиме, не превышает нескольких мкВт); большой диапазон возможного напряжения питания (от 3 до 15 В); высокое входное сопротивление (более 1 МОм); недостатки: большое время задержки (до 100 нс); большое выходное сопротивление (до 1 кОм).

Все логические устройства можно разделить на два класса - *комбинационные* и *последовательные* (устройства с памятью). В комбинационных устройствах сигнал на выходе (выходах) устройства однозначно определяется комбинацией сигналов на входах устройства. К таким устройствам относятся рассмотренные выше логические элементы, а также составленные из них мультиплексоры, демультимплексоры, преобразователи кодов, цифровые компараторы.

В последовательных устройствах сигнал на выходе зависит не только от комбинации сигналов на входах в настоящий момент времени, но и от тех значений переменных, которые действовали на входах в предыдущие моменты времени. Функцию запоминания значений логических переменных в цифровых схемах выполняют триггеры.

**Триггер** – устройство, обладающее двумя состояниями устойчивого равновесия и способное скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего управляющего сигнала. Триггер имеет один,

два или три входа и два выхода  $Q$  и  $\bar{Q}$ , находящиеся в противоположном состоянии. Триггер можно рассматривать в качестве элементарного носителя информации, заданной в *двоичной системе счисления*. Триггеры являются важными элементами современной вычислительной техники.

Триггеры можно классифицировать по функциональному признаку и по способу управления. По функциональному признаку различают триггеры RS, D, T, JK и других типов, по способу управления – *асинхронные* и *синхронные*. Синхронные триггеры имеют специальные тактовые входы и переход триггера из одного состояния в другое возможен только при наличии сигнала на тактовом входе.

В настоящей работе исследуется асинхронный RS-триггер, собранный на элементах **ИЛИ-НЕ** (рис.6.4).

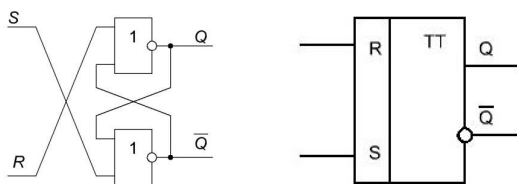


Рис.6.4. Асинхронный RS-триггер на элементах **ИЛИ-НЕ** и его условное изображение

Для RS-триггера имеется два устойчивых состояния – ( $Q=0, \bar{Q} = 1$ ) и ( $Q=1, \bar{Q} = 0$ ), которые реализуются при  $R=0$  и  $S=0$ . Комбинация  $R=0, S=1$  переводит триггер в состояние ( $Q=1, \bar{Q} = 0$ ), комбинация  $R=1, S=0$  переводит в состояние ( $Q=0, \bar{Q} = 1$ ), комбинация  $R=1, S=1$  для этого триггера недопустима.

Назначение и обозначение входов триггеров:

вход S – установочный (при  $S=1$  триггер переходит в состояние **1**  $Q=1, \bar{Q} = 0$ )

вход R – вход сброса (при  $R=1$  триггер переходит в состояние **0**  $Q=0, \bar{Q} = 1$ )

вход C – тактовый вход (переключение триггера происходит только при наличии тактового (синхронизирующего) сигнала)

вход D – вход задержки, используется для приема информации по одному входу, триггер переходит в состояние, соответствующее информационному входу D в момент прихода синхронизирующего сигнала ( $C=1$ )

вход T – счетный вход, триггер переходит в новое состояние в результате воздействия на его вход каждого очередного сигнала

вход J – вход установки универсального JK – триггера

вход K – вход сброса универсального JK – триггера .



Для универсального JK – триггера нет, в отличие от RS-триггера, запрещенных комбинаций на входах: комбинация  $J=K=0$  соответствует хранению информации, а комбинация  $J=K=1$  переводит триггер в противоположное состояние в момент окончания синхронизирующего сигнала.

### **3. Описание лабораторного оборудования.**

Экспериментальные исследования проводятся на универсальном лабораторном стенде.

При сборке цепи используется следующее оборудование:

1) источник постоянного напряжения БП-15 со встроенным вольтметром, обеспечивающий изменение напряжения в пределах  $(-15 \div +15\text{В})$ , расположенные в “Блоке источников постоянного тока ” и предназначенный для питания микросхем;

2) источник постоянного напряжения БП-30 со встроенным вольтметром, расположенный в “Блоке источников постоянного тока ”, обеспечивающий изменение напряжения в пределах  $(-30 \div 30 \text{ В})$  и предназначенный для формирования логического сигнала единичного (высокого) уровня;

3) ключи SA3÷SA7, расположенные в “Блоке коммутации”; и предназначенные для подачи логических сигналов на входы микросхем;

4) индикаторы логического состояния VD1÷VD8 (светодиоды), расположенные в “Блоке цифровых устройств ”;

5) резисторы R1 (1 кОм), R2 (1 кОм), R3 (2 кОм), R4 (2 кОм), расположенные в «Блоке цифровых устройств» и R5 (1 кОм), R6 (2 кОм), расположенные в “Блоке аналоговых устройств”:

6) - интегральные микросхемы DD (K561ЛА7 и K561ЛЕ5), устанавливаемые в “Блок цифровых устройств”.

### **4. Порядок выполнения работы**

Перед сборкой цепи убедитесь в отключенном состоянии стенда – ручка выключателя стенда находится в нижнем положении, индикаторные лампы не горят.

#### **4.1. Исследование логического элемента И-НЕ**

Вставьте микросхему K561ЛА7 в гнездо DD Блока цифровых устройств. Микросхема состоит из четырех ЛЭ **И-НЕ**. Цоколевка ИС показана на рис. 6.5.

Выберите один из логических элементов микросхемы и соберите схему рис.6.6 для исследования элемента. В качестве входа  $x_1$  (см. рис.6.1), например, можно выбрать вывод 2, входа  $x_2$  – вывод 2, выхода F – вывод 3.

На выводы 14 и 7 подайте напряжение питания микросхемы от источника БП-15.

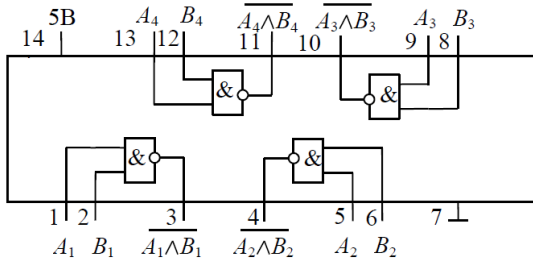


Рис.6.5. Цоколевка микросхемы K561ЛА7

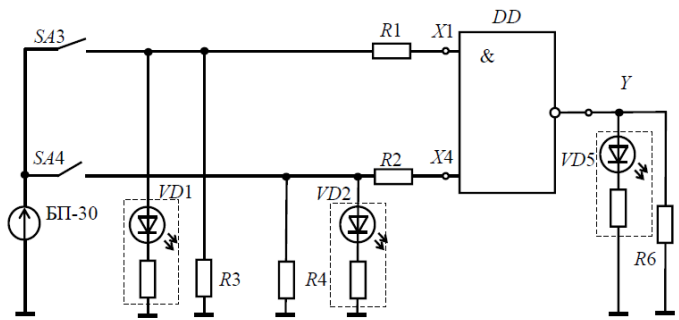


Рис.6.6. Исследование элемента И-НЕ

В исходном состоянии светодиод VD5 должен светиться – на выходе ЛЭ логическая **1**.

Замкните ключи SA3, SA4. Плавно увеличивая величину напряжения источника БП-30 до тех пор, пока светодиод, подключенный к выходу микросхемы, не погаснет, определить величину входного сигнала, соответствующего уровню логической «1», по встроенному в БП-30 вольтметру. Значение напряжения запишите.

**Внимание! Напряжение на выходе источника БП-30 не должно превышать 10В.**

Замыкая и размыкая ключи SA3 и SA4, составьте таблицу истинности для исследуемого элемента (табл.6.1). О значении сигналов на входах и выходе судите по свечению светодиодов – светящийся светодиод соответствует уровню **1**.

Таблица 6.1

Таблица истинности элемента И-НЕ

X1	X4	Y
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

## 4.2. Исследование логического элемента ИЛИ-НЕ

Вместо микросхемы К561ЛА7 вставьте микросхему К561ЛЕ5, собранной на элементах **ИЛИ-НЕ**. Цоколевка микросхемы показана на рис.5.6. Подайте напряжение питания микросхемы 5В от источника БП-15.

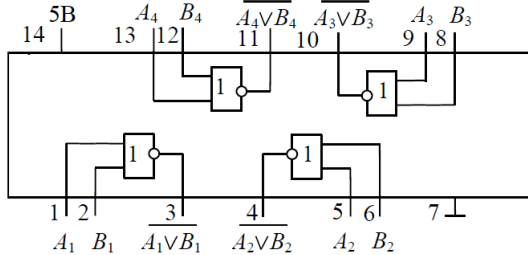


Рис.6.7. Цоколевка микросхемы К561ЛЕ5

Выбрав один из элементов микросхемы, соберите схему для исследования логического элемента **ИЛИ-НЕ** (рис.6.8).

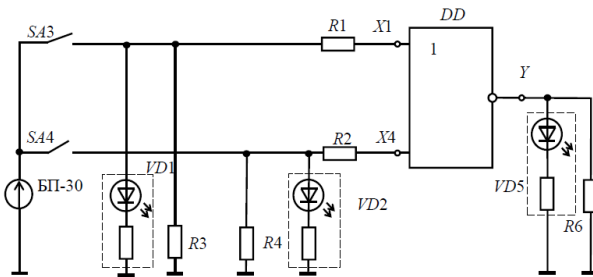


Рис.6.8. Схема для исследования логического элемента

Разомкните ключи SA3, SA4. По встроенному вольтметру, установите напряжение на выходе источника БП-30, соответствующее уровню логической **1**.

Замыкая и размыкая ключи SA3, SA4 составьте таблицу истинности исследуемого элемента (табл.6.2). О характере выходного сигнала можно судить по свечению светодиода VD5 .

Таблица 6.2

Таблица истинности элемента **ИЛИ-НЕ**

X1	X4	Y
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

### 4.3. Исследование асинхронного RS-триггера

На базе микросхемы К561JE5 соберите асинхронный RS-триггер и схему рис.6.9 для его исследования.

Указания: перед сборкой на рисунке отметьте номера выводов логических элементов, которые будут использованы.

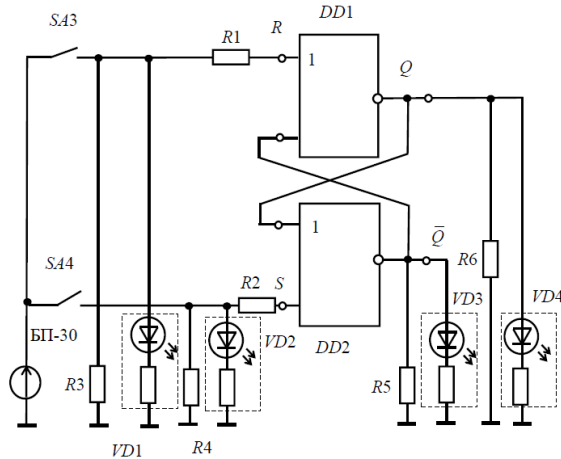


Рис.6.9. Схема для исследования асинхронного RS-триггера

Замыкая и размыкая ключи SA3, SA4 в необходимом порядке, получите экспериментальные данные для составления таблицы истинности и таблицы переходов исследуемого триггера (табл.6.3), о характере выходного сигнала судите по свечению светодиодов VD3 и VD4.

Табл.3

Таблица переходов для RS-триггера на основе элементов ИЛИ-НЕ

S	R	$Q_{n-1}$	$Q_n$	$\bar{Q}$
0	0	-		
1	0			
0	0			
0	1			
0	0			
1	0			
0	0			
1	0			
0	0			
0	1			
1	1			
1	0			
1	1			

В этой таблице в столбик  $Q_{n-1}$  записывается предшествующее состояние триггера, а в столбик  $Q_n$  – состояние триггера после подачи соответствующей комбинации на входах.

### 5. Содержание отчета;

- название и цель работы,
- исследуемые схемы, таблицы измеренных данных,
- таблицы истинности исследуемых элементов и сравнение результатов эксперимента с теоретическими положениями,
- векторные диаграммы,
- выводы.

### 6. Задачи для самостоятельного решения.

**Задача 1.** Для заданной логической схемы заполните таблицу истинности.

	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <thead> <tr> <th><math>X_1</math></th> <th><math>X_2</math></th> <th><math>X_3</math></th> <th><math>X_4</math></th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	F	0	0	0	0		0	0	0	1		0	0	1	0																					
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	F																																					
0	0	0	0																																						
0	0	0	1																																						
0	0	1	0																																						

**Задача 2.** Построить комбинационное устройство, реализующую функцию  $F = \overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2}} + \overline{\overline{X_3} \cdot \overline{X_4}} + X_1$  и составить таблицу истинности.

**Задача 3.** Упростить функцию задачи 2 и составить по ней комбинационное устройство.

**Задача 4** Построить комбинационное устройство, реализующее функцию  $F = \overline{\overline{X} + Y \cdot \overline{Z}} + \overline{\overline{X} \cdot Z}$  и составить таблицу истинности.

**Задача 5.** Упростить функцию задачи 4 и составить по ней комбинационное устройство.

**Задача 6.** Составить из элементов **И-НЕ** устройство, реализующее операцию **И(ИЛИ, НЕ, ЗАПРЕТ)**.

**Задача 7.** Составить из элементов **ИЛИ-НЕ** устройство, реализующее операцию **И(ИЛИ, НЕ, ЗАПРЕТ)**.

**Задача 8.** Построить комбинационное устройство, реализующую функцию  $F = (X + Y\overline{Z})(Z + Y) + X\overline{Z}$ .

**Задача 9.** Составить из логических элементов устройство, передающее информационный сигнал на один из трех выходов в зависимости от комбинации на адресных входах.

**Задача 10.** Составить из логических элементов устройство, передающее на выход один из трех сигналов в зависимости от комбинации на адресных входах.

### **Контрольные вопросы**

1. Объясните принцип работы элементов **И**, **ИЛИ**, **НЕ**.
2. Объясните принцип работы схем **И-НЕ** и **ИЛИ-НЕ**.
3. Объясните принцип работы КМОП ИС.
4. Объясните назначение и принципы действия триггеров различных типов (по указанию преподавателя).
5. По заданной преподавателем схеме логического устройства заполните таблицу истинности в соответствии с его работой.
6. По заданной преподавателем таблице истинности изобразите схему реализующего ее логического устройства.
7. По заданным преподавателем временным диаграммам входных воздействий изобразите временную диаграмму на выходе логической схемы.
8. По заданным преподавателем временным диаграммам входных воздействий изобразите временную диаграмму на выходе триггера.
9. Почему невозможна комбинация  $R=1, S=1$  на входах асинхронного триггера, собранного на элементах **ИЛИ-НЕ**?

## Список литературы

1. Электротехника и электроника. Лаборатория: учебное пособие/ под ред. И.С.Лукманова; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т: УГА-ТУ, 2013
2. Основы промышленной электроники: учеб. для неэлектротехн. спец. вузов/ Под ред. В.Г.Герасимова. – М.: Высш. шк., 1986
3. Электротехника и электроника: Учебник для вузов. В 3 кн. /Под общ. ред. В.Г.Герасимова. – Кн.3: Электрические измерения и основы электроники. – М.: ООО ТИД “Арис”, 2011
4. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов. Под. ред. О.П.Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005
5. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учебное пособие.–Ростов н/Д.: Феникс, 2005.
6. Немцов М.В. Электротехника и электроника : Учеб. для вузов рек. МО РФ. – М.: Изд-во МЭИ, 2003
7. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники: учеб. пособие рек. МО РФ, - М.: Высш. шк., 2002
8. Информационно-измерительная техника и электроника: учеб. для вузов по направлению “Электроэнергетика”/ под ред. Г.Г.Ренннева. – М.: Академия, 2009
9. Электротехника и электроника: учебное пособие/ Р.В.Ахмадеев и др. Уфа: УГАТУ, 2012
- 10.Бой К. Цифровая электроника. – М.: Техносфера, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Основные правила техники безопасности и проведения работ в электротехнической лаборатории	4
Лабораторная работа 1. Исследование полупроводниковых выпрямителей	5
Лабораторная работа 2. Исследование параметрического стабилизатора напряжения	19
Лабораторная работа 3. Исследование схем усилительных каскадов на биполярном транзисторе	26
Лабораторная работа 4. Исследование работы транзистора в ключевом режиме	36
Лабораторная работа 5. Исследование схем на операционном усилителе	44
Лабораторная работа 6. Исследование логических элементов	53
Список литературы	63



*Учебное издание*

Авторы-составители:  
**Мезрин Владимир Васильевич**  
**Зиновьев Виталий Валерьевич**

**Электротехника и электроника**  
**Лабораторный практикум**  
**Часть 3. Электроника**

*Авторская редакция*

Подписано в печать 08.07.21. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 2,23.  
Тираж 30 экз. Заказ № 1349.

Типография  
Издательского центра «Удмуртский университет»  
426034, Ижевск, Университетская, д. 1, корп. 2  
Тел. 68-57-18